656.7
A22

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
·ТРАНСПОРТ·

656.7

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Под редакцией д-ра техн. наук
проф. Г. А. Крыжановского

Утверждено УУЗ МГА СССР в качестве учебного пособия
для вузов гражданской авиации

1162377
ЛПИ

МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1981

УДК 629.7.351.814.334.3.051.001 (022)

**Автоматизация процессов управления воздушным движением:** Учеб. пособие для вузов гражд. авиации./Ю. П. Дарымов, Г. А. Крыжановский, В. А. Солодухин, В. Г. Кивько, Б. А. Киров, Под ред. Г. А. Крыжановского.— М.: Транспорт, 1981 — 400 с.

Учебное пособие содержит систематическое изложение основ автоматизации процессов УВД, а также принципов технической реализации АС УВД. Основное внимание уделяется общим вопросам автоматизации процессов УВД, включающим формализацию процессов, построение их математических моделей, оценку эффективности функционирования, алгоритмизации и реализации алгоритмов на ЭВМ, а также принципам построения АС УВД.

Учебное пособие рассчитано на слушателей Академии гражданской авиации, студентов и аспирантов вузов гражданской авиации; оно может быть полезным для специалистов подразделений гражданской авиации, а также учащихся соответствующих специальностей других авиационных вузов, занимающихся вопросами управления совокупностью динамических объектов в рамках больших систем.

Ил. 63, табл. 8, библиогр. 229 назв.

Введение, главы 1, 2, 4, 6, 7 написаны д-ром техн. наук проф. *Г. А. Крыжановским;* главы 10, 11 — канд. техн. наук доц. *Ю. П. Дарымовым;* главы 3, 5, 9, 17, 18 — канд. техн. наук *В. А. Солодухиным;* глава 13 — канд. техн. наук доц. *В. Г. Кизько;* главы 15, 16, 19, 20, 21 — канд. техн. наук *Б. А. Кировым;* главы 8, 12, 14 — написаны *Г. А. Крыжановским* и *Ю. П. Дарымовым* совместно; ряд параграфов (§ 6.2, 6.3, 8.4, 17.2, 21.1 и др.) написаны авторами при взаимном использовании материалов.

Рецензенты: кафедра автоматизированных систем УВД МИИГА, А. А. Махарев

А $\frac{31808\text{-}055}{049(01)\text{-}81}$ 55-81 3606010000

© Издательство «Транспорт», 1981.

Автоматизация процессов труда на сегодняшний день является одним из преобладающих факторов в развитии и совершенствовании технических систем. Существенную роль играет она и при совершенствовании системы управления воздушным движением (УВД). Основная задача данного учебного пособия состоит в изложении основ автоматизации процессов УВД. Главными отличительными чертами принятого здесь подхода являются:

автоматизация процессов УВД, которая рассматривается в неразрывном комплексе и в совокупности с такими сопутствующими ей процессами, как организационные мероприятия, деление воздушного пространства, подготовка диспетчерского состава и др.;

исследование вопросов автоматизации процессов УВД не только на этапе непосредственного управления, но и на этапах организации УВД, планирования и обеспечения полетов.

Главное внимание уделяется общей стороне вопросов автоматизации, включающей алгоритмизацию и моделирование процессов УВД на всех этапах функционирования системы, реализацию алгоритмов и методов решения основных задач на ЭВМ и структурное аппаратурное построение АС УВД.

При этом везде, где только возможно, используется попытка формализации процессов, построение их математических моделей. Полученные при таком подходе результаты исследования процессов на этапах организации, планирования и обеспечения полетов, а также непосредственного УВД в той или иной степени дополняют разделы развивающейся в настоящее время прикладной науки об управлении воздушным движением. Уже сейчас в значительной степени ясны те особенности, которые должны отличать ее от любой другой отрасли прикладного знания. Еще совсем недавно в ряде исследовательских и учебных центров, управлениях гражданской авиации проблемы автоматизации процессов непосредственного УВД, планирования и обеспечения полетов, организации УВД в районах аэродромов и при полетах на трассах решались в основном на базе интуиции и личного опыта; до сих пор еще целый ряд основополагающих правил и регламентов принимается только с помощью экспертного совета. Такой прецедентный метод исследования и синтеза процессов УВД, конечно же, не является приемлемым по известному перечню показателей. Только подлинно научный подход, базирующийся на количественном анализе, позволяет получать обоснованные рекомендации по автоматизации процессов УВД, осуществлять синтез рациональных процессов непосредственного управления, организации УВД, планирования и обеспечения воздушного движения. Понятно, что овладеть таким подходом нелегко. Однако он непосредственно связан с по-

вышением безопасности полетов, наиболее эффективным использованием воздушного пространства и поэтому оправдывает любые затраты. Авторы стремились создать учебное пособие, в котором излагается общий научный подход к исследованию процессов УВД с целью их автоматизации на всех этапах функционирования системы УВД. Задача создания подобного пособия вряд ли может быть успешно решена сразу, однако потребность практики УВД и необходимость в автоматизации процессов УВД заставляет начинать такие попытки, не дожидаясь абсолютной завершенности науки об УВД.

В данном учебном пособии описаны сложившиеся уже концепции как в СССР, так и за рубежом, отражены поиски и подходы коллектива кафедры УВД и ОНИЛ УВД Академии ГА к проблеме автоматизации процессов УВД. Авторы стремились наметить и обосновать общую тенденцию в проблеме автоматизации, охарактеризовать принципы ее осуществления, формализовать деятельность отдельных элементов и в целом системы УВД, показать современные пути ее совершенствования и главные нерешенные еще проблемы.

Учебное пособие содержит введение и 21 главу, объединенные в четыре раздела: основы автоматизации процессов УВД; автоматизация процессов организации УВД и планирования полетов; автоматизация процессов непосредственного УВД; основы технической реализации АС УВД.

Значительная часть учебного пособия составлена по записям и конспектам лекций, которые читались авторами в продолжение ряда лет аспирантам и слушателям различных факультетов Академии гражданской авиации.

Воздушные перевозки стали обычным явлением в наши дни. Воздушный транспорт, являясь надежным, удобным и наиболее быстрым средством сообщения, перевозит значительную часть пассажиров и грузов.

Первым советским законодательным актом о воздушном транспорте явился декрет «О воздушных передвижениях в воздушном пространстве над территорией РСФСР и над ее территориальными водами», подписанный В. И. Лениным 17 января 1921 г.

Днем рождения гражданской авиации считается 9 февраля 1923 г, когда Совет Труда и Обороны принял постановление об образовании постоянного Совета по гражданской авиации. 25 марта 1932 г. Главному управлению гражданского воздушного флота было присвоено наименование «Аэрофлот».

Лишь первые несколько лет гражданская авиация могла обходиться без службы движения. Увеличение скорости и дальности полета летательных аппаратов позволило осуществлять воздушные перевозки на большие расстояния, и тогда возникла необходимость иметь надежный контакт экипажа с землей. В 1929 г. впервые создана диспетчерская система на авиалинии Москва — Иркутск, а в 1930 г. уже было произведено деление страны на диспетчерские районы вдоль воздушных трасс. Возникла необходимость и в регламентировании работы диспетчеров, что выразилось в создании проекта «Положения о диспетчерской службе на воздушных линиях СССР».

Успехи в развитии радиотехники позволили в 1937 г. начать внедрение в практику гражданской авиации радиопеленгаторов, радиомаяков, радиокомпасов, а в 1940 г. были освоены методика и схемы захода на посадку с использованием радиотехнических средств. Увеличение интенсивности воздушного движения привело к необходимости решать задачи управления движением совокупности летательных аппаратов, и в 1947 г. были созданы районы диспетчерской службы (РДС).

В середине 50-х годов происходит совершенствование организационной структуры и методики УВД в связи с внедрением радиолокационных станций (РЛС). Дальнейшее усложнение воздушной обстановки вызвало необходимость стандартизации действия диспетчеров службы движения, и в 1964 г. была создана технология работы диспетчерских пунктов, строго регламентирующая обязанности диспетчеров.

Летательными аппаратами Аэрофлота осуществляются воздушные перевозки во многие страны мира. Это предопределяет необходимость широкого взаимодействия государств при решении

вопросов, связанных с полетами самолетов над территорией других стран, координацией усилий при совершенствовании организации воздушного движения, технических средств навигации и УВД и т. д. Решением этих вопросов занимается Международная организация гражданской авиации (ИКАО). Советский Союз состоит членом ИКАО с 14 ноября 1970 г.

Одной из важнейших проблем в деятельности всех звеньев и служб авиации остается обеспечение безопасности полетов. Постоянное увеличение объема воздушных перевозок более чем на 10—15% ежегодно приводит к росту плотности потоков летательных аппаратов. По данным ИКАО рост количества полетов на авиалиниях достигает уже в настоящем $(150 \div 300)\,10^6$ полетов в год в странах с высоко развитой системой воздушных перевозок. Если учесть, что одновременно в полете находится до $7 \cdot 10^3$ летательных аппаратов, скоростные характеристики которых различны, то становится ясным утверждение, что сейчас в небе становится тесно. Именно поэтому воздушное пространство относят теперь к национальному достоянию наряду с недрами, водными и другими ресурсами каждой страны. Возникает одна из актуальнейших задач рационального использования воздушного пространства в целях авиаперевозок.

Для рационального, т. е. планомерного, безопасного и экономически выгодного использования воздушного пространства созданы системы обеспечения авиаперевозок, среди которых особое место занимает система управления воздушным движением, осуществляющая организацию воздушного движения и органов управления воздушным движением, его планирование, оперативное непосредственное управление и обеспечение безопасности полетов. Целый ряд специфических отличительных черт воздушного движения вызывает необходимость строгой упорядоченности полетов летательных аппаратов. К ним относятся: трехмерный характер движения летательных аппаратов и отсутствие жесткой связи с той материальной средой (атмосферой), в которой происходит воздушное движение; невозможность внезапной приостановки воздушного движения (торможения); значительные скорости, приводящие к быстротечности всех связанных с ним процессов; существенная зависимость воздушного движения от состояния и свойств воздушной среды. Наличие таких особенностей обусловливает необходимость организации и осуществления управления движением летательных аппаратов. Такое целенаправленное управление совокупностью либо одиночными летательными аппаратами с целью поддержания планируемой программы их движения, обеспечения безопасности и упорядочения потока воздушного движения и получило название управления воздушным движением. Оно включает и функции организации всего комплекса мероприятий по разделению воздушного пространства для наиболее рационального его использования, выбору, размещению и применению радиотехнических средств, обеспечивающих получение необходимой информации о воздушном движении, разработке рациональных планов и про-

грамм воздушного движения, а также их обеспечения и, наконец, функций осуществления непосредственного управления воздушным движением и оказание помощи экипажам летательных аппаратов.

Осуществить всю совокупность таких целенаправленных действий для УВД значительного числа летательных аппаратов может лишь хорошо организованная система, обладающая самым совершенным радиотехническим оборудованием и высококвалифицированными специалистами. Такая система носит название системы УВД. Она включает в себя диспетчерский состав и других работников службы УВД. Сложность функций систем УВД обусловливает и их трудности. Системы УВД относятся к полиэргатическим системам управления динамическими объектами. Каждое из введенных здесь понятий «система», «эргатическая система», «система управления», «динамические объекты» требует пояснений для более полного представления о системе УВД. Понятие системы наряду с понятиями управления динамическими объектами и полиэргатической системой является фундаментальным понятием теории УВД. Обычно любая реально существующая система состоит из конкретных объектов, в качестве которых могут выступать технические устройства, люди, управляющие этими устройствами, материальные ресурсы и т. д. Понятие «система» объединяет в себя совокупность конкретных объектов, рассматриваемых как единое целое и связанных между собой и с окружающим миром определенными связями, представляющими собой силы, потоки энергии, вещества, информации. Критерием для выделения совокупности объектов в систему обычно можно считать степень связности объектов внутри системы и объектов с внешним миром. Чем больше объединены объекты внутри системы и чем больше обособлена данная совокупность объектов от внешнего мира, тем больше оснований рассматривать ее в качестве системы. Так, объединяющим признаком объектов внутри системы УВД может служить поток информации. Действительно, поток информации внутри системы УВД, состоящий из передачи различных сообщений по каналам связи между диспетчерами и экипажами летательных аппаратов, между различными диспетчерскими пунктами, несоизмеримо больший, чем поток информации, характеризующий связь системы УВД с «внешним» миром — другими службами ГА и другими организациями.

Среди систем можно различать множество самых различных связанных и функционирующих совокупностей элементов. Здесь рассматриваются не любые системы вообще, а только полиэргатические системы управления. Под эргатической и полиэргатической системой управления понимают систему с организационно-управленческой деятельностью элементов, включающих человека-оператора и (или) коллективы людей, осуществляющих функции руководства работой других элементов, а также включающих человека-оператора и (или) коллективы людей, направленных на достижение определенных целей. Наличие человека в системе,

характеризующееся его творческими особенностями, определяется термином «эргатическая система». Человек, осуществляющий управление, планирует, принимает решение, оценивая планы и окружающую обстановку с помощью информации, получаемой от своих органов чувств, измерительных приборов, других лиц.

Информацию об окружающей обстановке в большинстве случаев он получает с помощью радиолокационного и радиопереговорного устройств по докладу командира летательного аппарата. Во многих случаях информации об окружающей обстановке оказывается недостаточно для однозначной ее оценки и принятия решения. Тогда человек использует свой опыт, знания, память и интуицию. Все эти качества наделяют человека в системе управления замечательным свойством уметь принимать решения в условиях значительной неопределенности в окружающей обстановке и при не полностью заданных целях. Все это обусловило необходимость использования человека в системах УВД. По этой причине перспективными представляются автоматизированные системы УВД, а не автоматические с полностью исключающей человека автоматизацией всех процессов.

Одной из наиболее характерных черт систем управления является способность такой системы изменять свое состояние (движение элементов объектов системы) под влиянием различных управляющих воздействий. Любую управляемую систему можно представить в виде совокупности по крайней мере двух различных частей: управляемой — объектом управления и управляющей — называемой управляющей частью, либо устройством, либо в простейшем случае оператором. Всякий объект, движением которого управляют, называют управляемым объектом. Так, например, управляемыми объектами системы УВД являются летательные аппараты в воздушном пространстве данного района диспетчерской службы. При этом управляемое движение отличается от неуправляемого своей целенаправленностью. Управление состоит в навязывании управляемому объекту такого движения, которое отвечает определенной цели. Если такой цели нет, то говорить об управлении вообще бессмысленно. Управление осуществляется обычно при помощи специальных устройств, которые совместно с управляемым объектом образуют систему управления. При этом для управляемых объектов существует некоторое множество состояний (движений), из которых производится выбор предпочтительного состояния, если речь идет об управляемой системе. Поэтому осуществление процесса выбора (решение задачи выбора) неразрывно связано с управлением и системой управления. Предпочтительность того или иного состояния определяется количественными характеристиками системы управления. Такие количественные характеристики должны отражать (описывать) состояние системы управления и ее отдельных элементов в процессе их движения и развития.

Изменение состояния системы управления происходит во времени в результате переходного процесса.

Систему управления, переход которой из одного состояния в другое совершается при переходном процессе с периодом, соизмеримым с временем наблюдения системы, часто считают динамической. Если время наблюдения неограничено, то любая реальная система является динамической. Для упрощения описания систем управления в теории систем принято условно выделять три группы систем: группу определенных выше динамических систем; группу статических систем, для которых длительность переходного процесса достаточно большая, и значительно превосходит время наблюдения, а характер переходного процесса не оказывает существенного влияния на поведение системы; группу систем конечных автоматов, когда длительность переходного процесса исчезающе мала по сравнению с длительностью наблюдения, т. е. длительностью исследуемого процесса в системе, и изменение состояния системы можно приближенно считать следующим мгновенно за вызывающими их причинами. Система УВД в целом, как следует из приведенных ранее примеров, относится к динамическим системам управления.

Обратная связь наряду с программой управления играет важнейшую роль в осуществлении эффективного управления, так как дает возможность оператору в процессе управления непрерывно судить о величине отклонений действительного движения от программного и изменении состояния объекта управления. Поэтому принцип обратной связи и задания программы движения лежат в основе подавляющего большинства процессов управления и почти всех процессов УВД. Если система управления автоматизирована, то часть процессов оператора выполняется автоматическим устройством. В частности, для АС УВД характерно наличие устройств для сравнения и оценки отклонений действительного состояния объекта от желаемого. В неавтоматизированных системах эта операция обычно осуществляется человеком. Далее, по определенному алгоритму производится выбор образа изменения состояния объекта управления. Часто вид и качество алгоритма в неавтоматизированных системах (УВД) зависят от опыта, способностей и интуиции человека-оператора (диспетчера) и пока не может быть полностью и с достаточной точностью формализовано. Изменение состояния объекта осуществляется, как правило, автоматически. В системе УВД этот процесс происходит путем отработки (исполнения) бортовой системой управления заданной команды командира летательного аппарата. Контроль за выполнением необходимого и осуществляемого нужным образом изменения состояния происходит с помощью тех же средств, что и при измерении действительного состояния объекта.

Приведенные пояснения подтверждают определение системы УВД как эргатической системы управления динамическими объектами. Наряду с этим система УВД имеет ряд специфических и существенно важных черт и особенностей. Наиболее важные из них состоят в скоротечности процессов системы УВД, невозможности их приостановки и ограниченной возможности человека-опе-

ратора (диспетчера). Эти особенности приводят к выводу о том, что единственным средством преодоления большинства затруднений является внедрение автоматизации во все процессы в системах УВД. Это связано с исследованием каждого отдельного этапа УВД и реализацией результатов исследования в виде программ для ЭВМ или их комплексов (ВК). При этом очевидно, что огромное увеличение скорости вычислений содержит в себе качественно новые явления. Например, если раньше человек-оператор из всего множества возможных вариантов решения мог проанализировать лишь некоторые, казавшиеся ему по каким-либо причинам достойными внимания, то теперь при наличии ВК часто открывается возможность сравнить все возможные варианты и выбрать наилучший из них. Так возникает идея оптимизации в процессах управления. Однако для того, чтобы ЭВМ можно было бы наиболее продуктивно использовать в системе управления, должны быть разработаны математические методы, позволяющие анализировать имеющиеся виды информации, отсеивать ненужную и выделять наиболее существенную часть информации, использовать ее для оценки сложившейся обстановки и выработки рекомендаций человеку-оператору для создания у него наиболее эффективного образа изменения состояния объекта и выполнения целей управления.

Одной из основных возникающих здесь проблем является проблема оснащения ЭВМ алгоритмами решения задач, составляющих основу процессов УВД. При этом алгоритмы решения должны давать возможность получения не любого решения, а наилучшего в заданном смысле. Такие алгоритмы получают при изучении методов теории оптимизации и исследования операций. Для их построения и использования необходим всесторонний анализ процессов УВД, включающий их моделирование, построение обоснованных оценок их эффективности.

Чтобы использовать ЭВМ в системе управления, необходимо разработать математические методы, позволяющие анализировать, оценивать и фильтровать от помех имеющиеся виды информации, отображать ее в наиболее удобном виде и использовать для оценки сложившейся и прогнозируемой воздушной обстановки, а также для выработки рекомендаций человеку-оператору в автоматизированной системе управления воздушным движением (АС УВД). Это требует оснащенных ЭВМ в АС УВД алгоритмами, позволяющими получить наилучшие решения по УВД. Для их разработки необходимы всесторонний анализ процессов в системе УВД, формирование оценок их эффективности в виде количественных показателей, выбор методов решения задач управления, анализ способов моделирования процессов и их алгоритмизации и решение многих других вопросов. Кроме разработки математического обеспечения ЭВМ АС УВД, важнейшими проблемами остаются чисто технические проблемы комплексирования элементов АС УВД, решения задач рациональной структуры АС УВД, соединений типа «человек-техника» и многие другие.

Раздел 1

# ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УВД

## Глава 1

## ПРОЦЕССЫ УВД

### 1.1. Основные задачи системы УВД

Воздушное движение потоков летательных аппаратов организуется, планируется и подвергается управлению путем выполнения целой совокупности упорядоченных операций. К ним относятся повторяющиеся периодически операции, образующие основной смысл организации, планирования и управления движением летательных аппаратов. Действительно, в большей части случаев сначала осуществляется расчет траекторий и планов полетов каждого летательного аппарата в потоке исходя из установленных норм безопасного эшелонирования с учетом требований экономичности и регулярности движения.

Программа движения, включающая траекторию и время пролета определенных пунктов маршрута, известна как экипажу, так и диспетчеру УВД. Каждый летательный аппарат выполняет полет в соответствии с заданной программой с помощью бортового навигационно-пилотажного оборудования. При этом ход выполнения программы полета контролируется с земли диспетчером УВД. В силу ограниченной точности бортовых средств самолетовождения, возможных ошибок экипажа или возникновения непредвиденных обстоятельств (изменения метеообстановки, нарушений планов полета по задержкам вылетов, технических сбоев и других причин) действительный полет летательного аппарата может существенно отклоняться от программы. Подобные отклонения могут привести к нарушению норм безопасного эшелонирования, к значительным экономическим потерям и нарушениям регулярности. В таких условиях диспетчеру УВД необходимо принять решение либо о пересмотре программы движения значительной части летательных аппаратов в потоке, либо о выработке корректирующих команд, выполнение которых привело бы к восстановлению первоначальной программы движения.

Для правильного принятия решения необходимо осуществить оценку сложившейся ситуации, просчитать возможные исходы при

тех или иных действиях экипажа и выбрать наиболее предпочтительные из них, выработать и подать соответствующие команды экипажам. Все эти операции необходимо провести за короткий промежуток времени так, чтобы в процессе полета успеть предотвратить опасные сближения, попадания летательных аппаратов в области опасных метеоявлений, либо возникновение других усложнений воздушной обстановки. Для выполнения всей совокупности перечисленных и большого числа сопутствующих и обеспечивающих операций необходима совершенная система управления воздушным движением. Качество работы такой системы определяется степенью надежности выполнения всех требований безопасности полета, эффективностью использования воздушного пространства, пропускной способностью зон УВД и другими показателями, включающими учет регулярности и экономичности при управлении воздушным движением.

Четкость и ритмичность работы системы УВД, а также основные качества ее работы в настоящее время ставятся в прямую зависимость от степени автоматизации процессов, выполняемых при УВД.

Принимая во внимание основную цель системы УВД, можно говорить о целесообразности автоматизации процессов управления для повышения пропускной способности зон УВД. Однако для более точного обоснования главного смысла автоматизации процессов управления необходимо заметить, что пропускная способность зон УВД, а вместе с ней и эффективность использования воздушного пространства будут повышены лишь тогда, когда основные мероприятия будут направлены на совершенствование организации воздушного движения и непосредственного управления, сдерживающих пропускную способность системы УВД. Анализ деятельности диспетчерских пунктов в различных зонах УВД свидетельствует о том, что узким местом в настоящее время все чаще является диспетчер, осуществляющий непосредственное управление воздушным движением в границах зоны своей ответственности в условиях достигнутого уровня организации УВД, при определенном качестве планирования воздушного движения и определенной степени оснащения техническими средствами данного диспетчерского пункта. Пропускная способность самого диспетчера в значительной мере зависит от условий его деятельности по непосредственному управлению, т. е. от уровня организации УВД, качества планирования воздушного движения в данной зоне, степени совершенства технических средств. Поэтому автоматизацию процессов УВД целесообразно понимать не только как автоматизацию операций по непосредственному управлению, но и как автоматизацию процессов организации УВД, планирования и обеспечения воздушного движения, т. е. можно говорить о комплексной автоматизации процессов УВД «в ответ» на комплексный характер самих задач и процессов УВД. Для того чтобы понимать, какие именно операции подлежат автоматизации и какие из них необходимо автоматизировать в первую очередь, необходи-

мо рассмотреть сначала самые общие черты системы УВД, для которой характерно наличие следующих основных задач:

организации управления воздушным движением в районах диспетчерской службы (РДС), районах аэродромов (РА) и других зонах УВД;

предварительного и текущего планирования воздушного движения на всех участках полетов и управления воздушным движением;

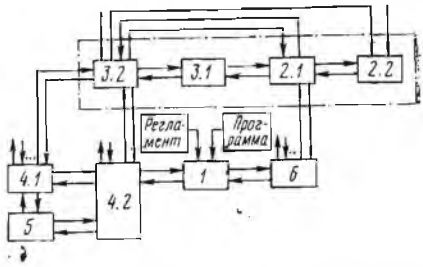


Рис. 1.1. Простейший контур системы УВД

непосредственного управления движением всей совокупности летательных аппаратов в различных зонах УВД;

определения оптимальных стратегий принятия решения при УВД и особенно в случае конфликтных ситуаций.

Решение перечисленных основных задач требует выполнения большого числа подготовительных и обеспечивающих операций, решения значительного числа текущих задач. Смысл некоторой части таких операций и задач, связанных с основной задачей по непосредственному управлению воздушным движением в зоне УВД, можно проследить на примере простейшего контура системы УВД, включающего элементы диспетчерского пункта в совокупности с экипажем летательного аппарата, бортовой системой управления и летательным аппаратом. При анализе процессов в таком простейшем контуре (считая задачи организации управления воздушным движением и планирования уже решенными) можно представить совокупность остальных задач, решаемых в системе УВД с помощью блок-схемы (рис. 1.1), где главными элементами являются:

*1* — диспетчер, осуществляющий непосредственное УВД в соответствии с установленным регламентом (при решении основной задачи по организации УВД) и выработанной программой полетов (при решении основной задачи по планированию воздушного движения); *2.1* — командир летательного аппарата, пилот; *2.2* — штурман, осуществляющий процесс самолетовождения, используя внешнюю информацию и сообщения командира летательного аппарата; *3.1* — бортовая система управления, включающая систему стабилизации вокруг центра масс и управление двигательными установками летательного аппарата; *3.2* — летательный аппарат; *4.1* — радиолокационное устройство, получающее сигналы от совокупности летательных аппаратов в данной зоне УВД; *4.2* — пульт-индикатор, воспроизводящий информацию радиолокационной станции, вычислительного устройства, а также данные вторичной радиолокации — от ответчиков, непосредственно с борта летательных аппаратов, находящихся в данной зоне УВД; *5* — вычислительное устройство; *6* — радиопереговорное устройство.

По заданному (разработанному) плану-программе движения диспетчер в соответствии с инструкциями, регламентами и выработанной схемой (порядком, установленным организацией движения), а также с учетом сложившейся воздушной обстановки, принимает решение о необходимости изменения действительного движения летательного аппарата и подает команду его командиру. Диспетчер осуществляет управление с помощью вычислительного устройства. Контроль за воздушной обстановкой он ведет с помощью радиолокационной станции и радиопеленгатора, выходная информация которых отображается на пульте-индикаторе. Принятие решения диспетчеру также может облегчить своими рекомендациями вычислительное устройство.

После получения команды командир изменяет положение рулевых органов либо сектора газа (управление двигательной установкой), которые приводят в действие систему пространственной стабилизации летательного аппарата относительно центра масс (вектора скорости центра масс), что вызывает перераспределение аэродинамических сил и моментов, действующих на летательный аппарат. Под их воздействием изменяется его положение относительно вектора скорости центра масс, что, в свою очередь, приводит к изменению сил и моментов, действующих на летательный аппарат, в результате чего изменяется и движение его центра масс. Это движение контролируется штурманом.

Описанное взаимодействие элементов в схеме простейшего контура системы УВД показывает всю сложность процессов даже в таком наиболее простом самостоятельном ее звене. Это описание, кроме того, позволяет выделить в простейшем контуре ряд подсистем:

подсистему пространственной стабилизации летательного аппарата относительно вектора скорости его центра масс. Такая подсистема включает лишь пилота и часть бортовых элементов;

«следящую» подсистему самолетовождения, которая осуществляет управление движением центра масс летательного аппарата относительно программной траектории и включает предыдущую подсистему в качестве составной его части;

систему управления летательным аппаратом в общем потоке, организованном в соответствии с программой и схемой движения, содержащую в своем составе все элементы простейшего контура систем УВД, включая и наземные устройства и объекты.

Работа каждой из перечисленных подсистем учитывается при анализе процессов в простейшем контуре УВД в зависимости от решаемых задач. Так, если УВД в простейшем контуре происходит при полетах по трассе, то, как правило, процессами в подсистеме пространственной стабилизации можно пренебречь, считая длительность их протекания малой. В этом случае при моделировании и математическом описании системы УВД уравнения движения летательного аппарата включают лишь уравнения, характеризующие работу двух последних подсистем. В ряде случаев при моделировании процессов, протекающих при управлении воздуш-

ным движением, приходится учитывать работу всех трех подсистем, т. е. в описание движения летательного аппарата включается и уравнение его движения вокруг центра масс. Это в первую очередь относится к УВД при посадке, где режимы движения имеют ряд особенностей. Однако в ряде задач, связанных с УВД, рассматривают процессы и изучают явления лишь на уровне последней системы без учета работы входящих в нее подсистем, считая их идеальными и функционирующими без ошибок и запаздывания. Функции системы УВД здесь сводятся к организации, планированию, осуществлению непосредственного управления (наблюдение, анализ, принятие решения, выработка и выдача команд и контроль их выполнения). Внедряемая автоматизация процессов не изменяет сущности решаемых системой УВД основных задач, но количественные изменения в числе анализируемых вариантов приводят к качественным изменениям решений — введению оптимизации процессов в системе УВД.

Достаточно часто взаимосвязь явлений и операций при организации УВД, планировании и осуществлении непосредственного УВД учитывается диспетчером либо другим руководителем службы движения интуитивно. Действенную помощь при выполнении этих основных задач ему может оказать лишь такая автоматизированная система, в которой с достаточной точностью воспроизведены в виде математических моделей все взаимосвязи явлений и операций. Это требует очень развитого и полного математического обеспечения вычислительных комплексов (ВК) АС УВД. Таким образом, речь идет о наличии в ВК АС УВД широкого спектра алгоритмов, способных решать все либо большинство из перечисленных основных задач, связанных с управлением воздушным движением. Внедрение автоматизации процессов не происходит мгновенно и не мыслится в условиях, когда прекращается функционирование существующей системы УВД на какое-либо длительное время. Практика автоматизации процессов УВД у нас в стране и за рубежом свидетельствует о предпочтительности эволюционного пути, когда автоматизация процессов «наращивается» в период функционирования системы УВД. Это вызывает необходимость учитывать сложившуюся структуру системы УВД, основные правила, регламентирующие ее деятельность, и основные задачи, решаемые ею. Поэтому при изучении вопросов автоматизации процессов УВД в первую очередь исследуются основные задачи системы УВД, структура системы УВД, анализируются основные этапы ее функционирования, а также основные процессы, характерные для каждого из этапов, взаимосвязь операций и комплексный характер задач по организации, планированию и управлению воздушным движением.

**Контрольные вопросы**

1. Чем в первую очередь определяется целесообразность автоматизации процессов УВД?
2. Перечислите основные задачи, характерные для системы УВД.

3. Поясните смысл основных задач на примере функционирования простейшего контура системы УВД.

4. Опишите физические процессы, которые возникают в каждом элементе простейшего контура при выдаче диспетчером соответствующей команды.

5. Какие подсистемы можно выделить в простейшем контуре УВД?

6. Для каких зон УВД существенно учитывать процессы в каждой из подсистем и в какой степени?

7. Поясните роль автоматизации процессов УВД при разработке вопросов организации УВД, планировании воздушного движения и непосредственном управлении.

## 1.2. Структура системы УВД

Задачи, решаемые системой УВД при организации управления воздушным движением, планировании и непосредственном управлении, требуют от нее достаточно гибкой и развитой структуры. Если при этом учесть преобладающую в настоящее время тенденцию, в соответствии с которой автоматизация процессов УВД должна быть ориентирована в основном на существующую либо близкую к ней структуру системы УВД, то становится очевидной вся важность четкого представления ее структурного построения и ее структурных особенностей.

Система УВД является эргатической системой управления динамическими объектами, в задачи которой входит организация УВД, планирование воздушного движения и непосредственное управление воздушным движением всей совокупности летательных аппаратов в заданных зонах УВД. Комплекс перечисленных задач требует от системы УВД достаточно разветвленной и совершенной организационной структуры. Для осуществления непосредственного управления воздушным движением отдельным летательным аппаратом или их совокупностью любая из систем УВД должна обязательно содержать ряд простейших контуров, каждый из которых управляет воздушным движением в своей зоне ответственности (см. рис. 1.1 и 1.2).

Простейший контур системы УВД из-за ограниченной пропускной способности своих элементов в большинстве случаев не может охватывать управление в зоне со значительным числом летательных аппаратов. Для этого требуется несколько таких контуров со своей зоной ответственности (УВД). Процессы планирования полетов по трассам, проходящим в данной либо в нескольких зонах УВД так же, как организацию и обеспечение полетов летательных аппаратов, необходимо поручить другим структурным единицам системы УВД, так как простейшие контуры УВД полностью загружены операциями по непосредственному УВД. Они должны осуществлять непосредственное управление движением летательных аппаратов в соответствии с выданными им извне планами, схемами полетов. Поэтому они находятся на другом уровне иерархии структурной схемы системы УВД по отношению к элементам, осуществляющим планирование, обеспечение воздушного движения и организацию УВД.

Планирование воздушного движения, осуществление самих полетов и непосредственного УВД возможны лишь при наличии организации УВД, т. е. при наличии установленных трасс и схем полетов, порядка и правил их выполнения, необходимых технических средств УВД и др. Весь сложнейший комплекс мероприятий по организации УВД также необходимо поручить особому уровню — подсистеме организации УВД. Так строится структура типовой системы УВД, состоящей из трех подсистем, каждая из которых является подсистемой, составляющей определенный уровень в общей иерархии структуры управления воздушным движением в рамках, например, страны. Наличие четвертого высшего уровня наряду с первыми тремя, включающими простейшие контуры и структурные элементы планирования и организации УВД, вызвано необходимостью координации и контроля их деятельности, а также решения организационных задач УВД в рамках воздушного пространства всей страны. Таким образом, наличие четвертого уровня обеспечивает в системе УВД такие потоки управляющей и рабочей информации, при которых возможно нормальное функционирование всей системы в целом.

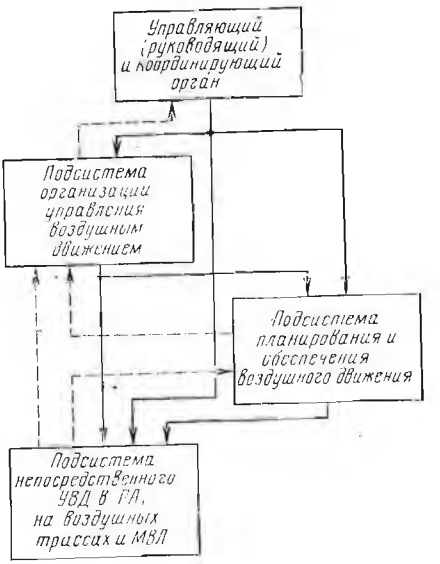



Рис. 1.2. Блок-схема типовой структуры системы УВД

Блок-схема системы УВД с перечисленными уровнями представлена на рис. 1.2, где сплошными линиями указана управляющая информация, а пунктирными — обратные связи. Наличие в системе УВД иерархической структуры наряду с уже описанными позволяет отнести систему УВД к так называемым «большим или сложным системам», теория которых в настоящее время активно разрабатывается. Существенной чертой таких систем является иерархичность структуры и как следствие этого возможность сложных взаимоотношений критериев или показателей эффективности между уровнями системы. Другой трудностью, которая обычно возникает перед исследователем подобных систем, является резкое отличие физической природы процессов, протекающих в большой системе на различных ее уровнях. Эта трудность связана с отсутствием достаточно развитого языка описания функционирования системы, включающей непрерывные динамические процессы управления движением летательных аппаратов и другие процессы логического характера (принятие решения диспетчером,

переключение режимов работы элементов и др.) и, наконец, статические процессы (планирование, учет ограничений и др.). Основными классифицирующими признаками, позволяющими отнести систему УВД к классу больших систем, являются: иерархическая структура системы с известными уровнями подчиненности; наличие в системе процессов существенно различной физической природы (динамических, статических и релейного характера); наличие в системе человека-оператора и (или) коллективов людей; существование неидентичных показателей эффективности работы элементов системы на разном уровне иерархии, вследствие чего связь между уровнями осуществляется не только с помощью непосредственной управляющей информации, но и с помощью сигналов об отношениях показателей на различных уровнях.

Например, структурная схема службы движения СССР в основных своих чертах (см. рис. 1.2) содержит уровни — подсистемы непосредственного УВД на воздушных трассах, в РА, на местных воздушных линиях, планирования движения в РА и потоков летательных аппаратов между отдельными РА, а также подсистему организации УВД в виде отделов движения управлений гражданской авиации и высший уровень — в виде Управления движением самолетов (УДС) МГА. Функции планирования в районе аэродрома выполняются аэродромным диспетчерским пунктом (АДП), а планирование, координация и согласование потоков летательных аппаратов на воздушных трассах осуществляются главным районным диспетчерским пунктом (ГРДП) и диспетчерской службой управления (ДСУ). Здесь же решаются и вопросы обеспечения полетов.

Приведенная структура может претерпевать определенные изменения в зависимости от структурно-организационных решений УДС МГА и новых возможностей, возникающих при внедрении совершенных технических средств УВД и в особенности автоматизации процессов УВД на базе широкого использования ЭЦВМ. Так, при внедрении трассовых АС УВД процессы планирования потоков летательных аппаратов на воздушных трассах данных районов УВД, где установлены АС УВД, будут осуществляться по всей видимости на базе отдельных структурных единиц районными диспетчерскими пунктами планирования потоков по аналогии с АДП для РА.

На структурной схеме (рис. 1.3) приведены установившиеся в настоящее время названия основных диспетчерских пунктов в районных центрах (РДП РЦ) и в РА, начиная от стартового диспетчерского пункта (СДП) и кончая диспетчерским пунктом руления (ДПР).

Структурная схема государственной системы УВД США (приближенно) приведена на рис. 1.4. Функции административного управления и использование воздушного пространства, включая вопросы организации УВД, планирования и обеспечения полетов и непосредственного УВД, возложены в США на Федеральное авиационное управление (ФАУ). ФАУ США осуществляет свои

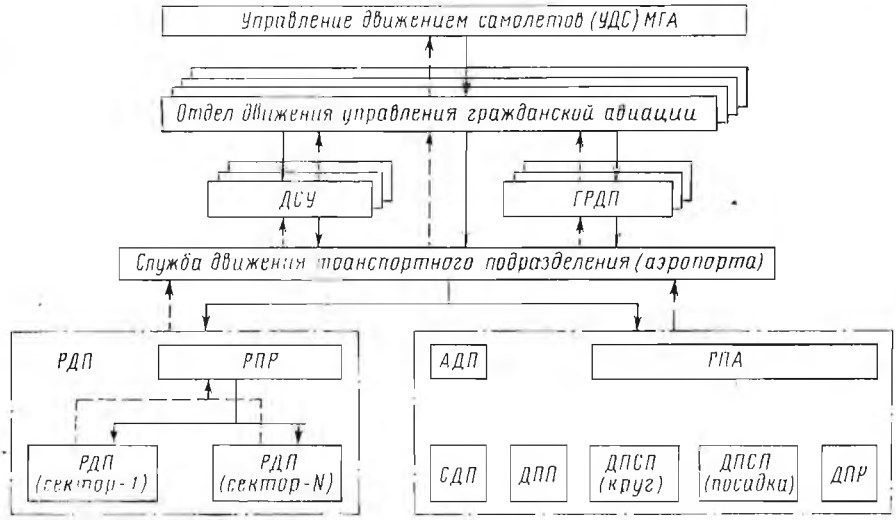



Рис. 1.3. Структурная схема службы движения СССР (примерная):

УДС МГА—управление движением самолетов МГА; ДСУ—диспетчерская служба управления; *ГРДП*—главный районный диспетчерский пункт; *РДП*—районный диспетчерский пункт; *РПР*—руководитель полетов района; *СДП*—стартовый диспетчерский пункт; *ДПП*—диспетчерский пункт подхода; *ДПСП*—диспетчерские пункты системы посадки; *ДПР*—диспетчерский пункт руления; *РПА*—руководитель полетов аэродрома; *АДП*—аэродромно-диспетчерский пункт

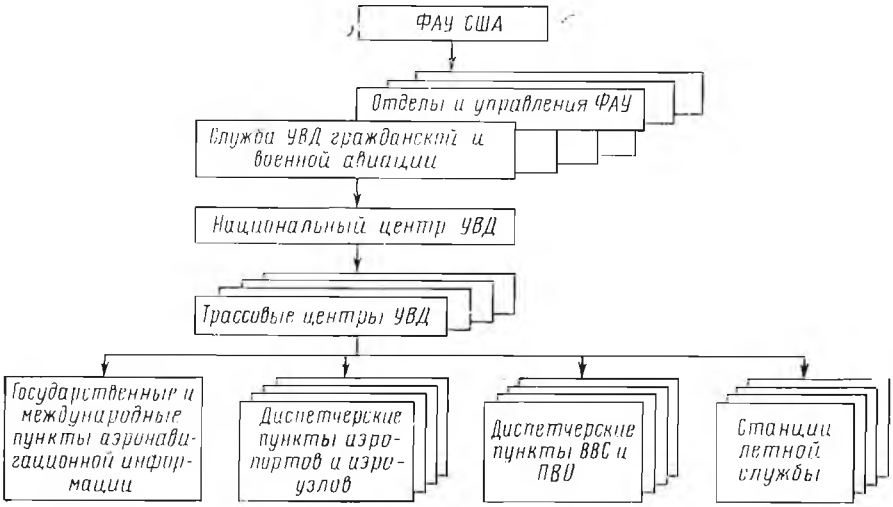



Рис. 1.4. Структура (фрагменты) государственной системы УВД США

функции с помощью подсистем по организации УВД, планированию и разработке программ управления и контроля их выполнения, непосредственному управлению. Круг вопросов, за которые несет ответственность ФАУ США, очень широк, например от разработки требований и программ создания новой авиационной техники, включая летательные аппараты системы навигации и УВД, до программ строительства и развития аэропортов. Наибольший интерес в конкретном случае представляют вопросы, связанные с УВД и отражающие лишь структурные особенности системы УВД США. Основные задачи, решаемые системой УВД США, включают: предотвращение столкновений между летательными аппаратами в воздухе и с препятствиями на земле; обеспечение высокой пропускной способности зон УВД; обеспечение аэронавигационной информацией для безопасного и эффективного производства полетов; организацию оповещения при поиске и спасении терпящих бедствие летательных аппаратов.

В соответствии с перечисленными задачами национальный центр УВД координирует работу трассовых и аэродромных центров УВД, а также центров управления полетами военных летательных аппаратов США. Трассовые центры УВД осуществляют предварительное и текущее планирование полетов и координацию планов на трассах, а также непосредственное УВД. Диспетчерские пункты аэропортов и аэроузлов выполняют предварительное и текущее планирование полетов, а также обеспечение полетов и непосредственное УВД в РА. Состав диспетчерских пунктов РА включает обычно диспетчерские пункты подхода (ДПП), стартовые (СДП), диспетчерские пункты контроля захода на посадку и пункты руления по аэродрому. Государственные и международные пункты аэронавигационной информации (аэронавигационно-информационные пункты) передают пилотам и диспетчерам необходимый установленный комплекс аэронавигационной, метеорологической и другой информации, необходимой для обеспечения безопасности и регулярности полетов.

Станции летной службы осуществляют планирование полетов и контроль движения летательных аппаратов авиации общего назначения, включающей личные, административные, санитарные учебные и другие самолеты и вертолеты. Подсистема непосредственного УВД США на период 1970 г. включала 20 трассовых центров, около 160 аэроузловых центров и 350 аэродромных диспетчерских пунктов с общим суммарным числом диспетчеров приблизительно 18.000, а число самолетов в воздушном пространстве США в часы пик составляло тогда до 14 000. На конец 1978 г. ежедневно в США совершалось около 175 000 полетов, что требовало от системы УВД США выполнения около $169{,}7 \cdot 10^3$ операций. Причем число отмеченных ошибочных операций, как показывают статистические данные за 1977—1978 гг., составляет не более одной-двух в день. Рост плотности воздушного движения приводит к пересмотру организации УВД. Например, на 1978 г. число трассовых центров становится уже 23, увеличивается и

число секторов. Таким образом, совершенствование системы УВД США включает в себя направление, связанное с автоматизацией и наиболее рациональной организацией УВД с учетом существующих в США правовых норм.

Национальная система УВД Англии объединяет ведомства гражданской и военной авиации, каждое из которых имеет свои функциональные задачи, их структурно-административные органы полностью объединены. Подсистема непосредственного УВД, включающая аэродромные диспетчерские пункты и районные (трассовые) центры, построена в основном по рекомендуемой ИКАО структуре. В соответствии с этой структурой в РА управление осуществляется диспетчерскими пунктами подхода, посадки, старта и руления.

Если сопоставить долю полетов летательных аппаратов военной авиации, то в США, Англии, Франции она достигает 30% от общего числа полетов. Это подчеркивает роль вопросов координации таких полетов в едином государственном пространстве и в зависимости от способа такой координации определяет в известной степени вид структуры системы УВД. В этой связи в отличие от объединенной системы УВД Англии и единой государственной системы УВД США и ФРГ систему Франции можно условно назвать «совмещенной», так как она совмещает фактически две взаимодействующие подсистемы УВД гражданской и военной авиации. Структура ее также включает подсистемы — уровни непосредственного УВД, планирования и обеспечения полетов, а также уровень организации УВД. Координация и взаимодействие подсистем (гражданской и военной) осуществляются включением в состав центров УВД военных специалистов по управлению полетами летательных аппаратов Министерства обороны и включением в состав командных пунктов и центров военной подсистемы УВД специалистов по УВД гражданских летательных аппаратов. Такое совмещение на одном пункте специалистов обеих подсистем и оправдывает название системы УВД Франции как совмещенной системы УВД.

Для более полного представления о разновидностях структур систем УВД необходимо отметить еще и такой вид, как межнациональная система УВД «Евроконтроль». Непрерывный рост интенсивности полетов, повышение скоростных характеристик летательных аппаратов гражданской авиации требуют постоянного совершенствования организационных структур, методов и средств управления воздушным движением.

В целях более эффективного использования воздушного пространства, предотвращения опасного сближения воздушных судов между собой и с летательными аппаратами военной авиации Франция, Великобритания, ФРГ, Бельгия, Люксембург и Нидерланды в 1960 г. подписали, а в 1963 г. ратифицировали Конвенцию о создании организации «Евроконтроль». С тех пор к ней присоединился еще целый ряд стран Западной Европы, а другие (и в том числе ФАУ США) заключили соглашение о сотрудниче-

стве по обмену технической информацией. Основная идея создания организации «Евроконтроль» состоит в существенном расширении возможностей УВД за счет объединения воздушного пространства ряда стран. Это позволило осуществлять контроль и координацию полетов в верхнем воздушном пространстве (свыше Є—$8 \cdot 10^3$ м) над территорией государств — членов организации, оптимально определяя зоны УВД в соответствии с тактическими и техническими факторами вне зависимости от государственных границ. Функции организации «Евроконтроль» охватывают и вопросы подготовки и совершенствования кадров специалистов УВД, а также проведение в широких масштабах научных исследований, касающихся проблем организации УВД, использования технических средств УВД и др. Государства — члены организации в соответствии с Конвенцией передали в распоряжение «Евроконтроля» некоторые свои центры УВД и их персонал. Такие центры осуществляют непосредственное УВД в определенных зонах в верхнем воздушном пространстве над территорией Великобритании, Ирландии, Франции, Бельгии, Нидерландов, Люксембурга и ФРГ как центры «Евроконтроля», а в нижнем воздушном пространстве, как центры тех государств, на территории которых они находятся. Аналогами описанных ранее трассовых (районных) центров УВД в организации «Евроконтроль» выступают региональные центры УВД, такие, например, как Парижский, Лондонский, Брюссельский и другие, координирующие планы полета и работу национальных центров УВД по вопросам стандартизации методов и средств УВД и технологии работы диспетчеров. Во многих региональных центрах работают совместно гражданские и военные диспетчеры, так как воздушное движение по трассам гражданских воздушных судов и летательных аппаратов военной авиации стран — членов НАТО осуществляется по единым правилам, а по маршрутам полетов военной авиации проводится по особому регламенту. Структурная схема системы УВД «Евроконтроль» приведена на рис. 1.5.

Из краткого описания вариантов структур систем УВД различных стран видно, что практически во всех разновидностях структуры систем всегда встречаются характерные подсистемы — уровни организации УВД, планирования и обеспечения полетов и непосредственного УВД. Поэтому целесообразно далее рассматривать «обобщенный» вариант типовой структуры системы УВД (см. рис. 1.2).

Первым уровнем системы является уровень, составленный из совокупности простейших контуров и образующий подсистему непосредственного управления воздушным движением в РА, на воздушных трассах и МВЛ. Структура такой подсистемы включает обычно ряд звеньев, также образующих иерархическую систему. Типовым примером такой подсистемы может служить структура районных или аэродромных диспетчерских пунктов, представленная в нижней части (см. рис. 1.3) структурной схемы службы движения.

В подсистеме непосредственного УВД первого уровня решаются задачи УВД: на аэродромах перед взлетом и после посадки (руление летательных аппаратов по РД и ВПП — управление ведется ДПР); в зонах взлета и посадки (взлет и посадка летательных аппаратов — управление в соответствии с инструкциями и технологией ведется ДПСП и СДП); в зонах подхода и вынесенных зонах ожидания (УВД осуществляет ДПП); на воздушных трассах и маршрутах вне трассовых полетов в воздушном пространстве РД; на местных воздушных линиях и маршрутах полета в зонах МВЛ. Решение этих задач сводится главным образом к функционированию простейшего контура при осуществлении непосредственного УВД (см. рис. 1.1). Сущность его состоит в следующем. На соответствующий диспетчерский пункт поступает программа полетов в воздушном пространстве, контролируемом данным диспетчерским пунктом. Обычно такая программа задается в виде суточного плана полетов либо любым другим образом, где указаны параметры движения и номера рейсов следующих летательных аппаратов. Такую программу можно представить обычно функцией координат во времени:

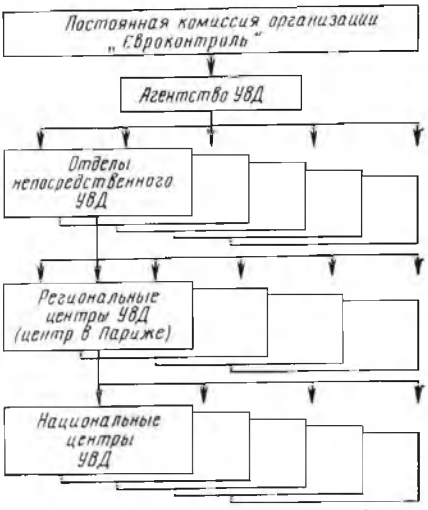



Рис. 1.5. Структурная схема системы УВД «Евроконтроль»

$$y_i^{(s)}(t_k) = \{F_i^{(s)}(t)/t = t_k\}, \quad (i = \overline{1,\ n}) \tag{1.1}$$

$$Y^{(s)}(t) = (y_1^{(s)}, \ldots,\ y_n^{(s)}),$$

где $Y^{(s)}$ — вектор обобщенных координат $s$-го летательного аппарата, характеризующий его программное положение; $F_i^{(s)}(t)$ — вектор-функция, характеризующая процесс программного изменения $Y^{(s)}$ во времени в воздушном пространстве данного диспетчерского пункта.

Программу, аналогичную (1.1), получает и командир $s$-го летательного аппарата, которая служит для него планом полета. В силу различных внешних воздействий и причин движение летательного аппарата в данной части воздушного пространства отклоняется от программного и представляется обычно уже другой функцией, описывающей действительное движение $s$-го летательного аппарата:

$$x_i^{(s)}(t_k) = \{\tilde{F}_i^{(s)}(t)/t = t_k\}. \tag{1.2}$$

Осуществляя контроль воздушного движения, диспетчер с помощью РЛС и вычислительного устройства устанавливает величины отклонений:

$$q_i^{(s)}(t_k) = y_i^{(s)}(t_k) - x_i^{(s)}(t_k). \qquad (1.3)$$

Оценивая величины $q_i^{(s)}(t_k)$, метеорологические факторы и другие текущие данные, диспетчер получает так называемую динамическую воздушную обстановку в зоне УВД. На основе оценки динамической воздушной обстановки и прогноза ее развития диспетчер принимает решение, вырабатывает необходимую команду и время ее выдачи и передает ее в нужный момент командиру летательного аппарата. Если того требуют обстановка и принятые правила УВД, то о действительном движении летательного аппарата (вместе с информацией о принятом решении и команде) сообщается на другие диспетчерские пункты.

Выполняемые диспетчером при УВД операции оценки динамической воздушной обстановки, прогноз ее развития, принятие решения, расчет (выработка) команд по УВД и их передача при современном уровне развития средств автоматизации во многом могут быть автоматизированы.

На втором уровне подсистему планирования воздушного движения образуют органы, осуществляющие планирование и обеспечение воздушного движения в РА, по воздушным трассам и МВЛ. Здесь и определяются значения $y_i^{(s)}(t_k)$. К ним, например, в рамках объединенного авиаотряда относится аэродромный диспетчерский пункт (АДП), а в рамках управления — диспетчерская служба управления (ДСУ) и главный районный диспетчерский пункт (ГДРП).

Основная задача второго уровня состоит в разработке планов полета. При этом чаще всего имеется в виду предварительное планирование в виде суточного плана полетов на предстоящие сутки в РА, на внутрисоюзных трассах, международных и местных воздушных линиях. Главным требованием к плану является требование бесконфликтности, которое понимается как отсутствие потенциальных опасных сближений и соответствие интенсивности воздушного движения пропускной способности зон УВД. Предварительный план должен быть составлен таким образом, чтобы осуществление полетов в соответствии с ним не приводило к опасным ситуациям, сближениям и предпосылкам к ним. При значительном числе рейсов и достаточно сложных схемах движения составить бесконфликтный предварительный план может лишь система, оснащенная мощными вычислительными устройствами. После составления, согласования и утверждения предварительные планы рассылаются соответствующим службам, взаимодействие которых позволяет обеспечить запланированные рейсы по всем трассам, маршрутам и воздушным линиям. Большая часть операций по сбору заявок на полеты, на основании которых и составляется суточный план по контролю правильности их записи, согласованию

и рассылке, и многие другие относятся к классу так называемых рутинных операций; автоматизация их не вызывает существенных затруднений.

Из анализа АС УВД различных поколений следует, что чем выше автоматизация, т. е. чем «старше» поколение АС УВД, тем в большей степени используется в них автоматизация процессов планирования воздушного движения.

Третий уровень образует подсистема организации УВД, в функции которой входит решение множества таких задач, как деление воздушного пространства, установление трасс и схем полета, организация работы служб движения в производственных подразделениях, организация движения летательных аппаратов и др. Обычно решение таких задач связывается с глубоким анализом интенсивности полетов в заданной зоне, прогноза, тенденции будущего развития различных видов полетов, определении потребности в существующих и перспективных технических средств и т. д. Проведение такого анализа влечет за собой значительное число вычислительных операций и исследований, выполняемых с использованием ЭЦВМ. Применение ЭЦВМ открывает возможность оптимизации процессов организации УВД. Таким образом, автоматизация на третьем уровне системы УВД позволяет существенно повысить качество принимаемых решений по организации УВД.

В структуру третьего уровня входят отделы движения управления гражданской авиации (ОД УГА) и руководящие органы служб движения на уровне авиапредприятий.

Основу четвертого уровня составляет координация работы остальных уровней, а также разработка и внедрение регламентирующих правил полетов летательных аппаратов. Без наличия регламентов и установленных с помощью руководящих документов схем и правил безопасное движение летательных аппаратов при современной плотности практически не осуществимо. В структуру четвертого уровня входит орган управления движением самолетов МГА (УДС МГА).

Деятельность органов четвертого и третьего уровней позволяет решать вопросы организации УВД, обеспечения и контроля управления движением, перспективного развития системы УВД и др. Решение перечисленных вопросов будет эффективным лишь в случае учета всей совокупности влияющих факторов, сравнения и перебора нескольких возможных вариантов. Поэтому становится очевидной необходимость использования машинных методов решения организационных и других задач, т. е. необходима разработка алгоритмов решения организационных задач, алгоритмов решения задач построения рациональных регламентирующих правил и ограничений и многих других.

Все эти вопросы также составляют часть общей, важнейшей в гражданской авиации проблемы автоматизации процессов управления воздушным движением.

**Контрольные вопросы**

1. Дайте обоснование необходимости многоуровиевого построеиия структуры системы УВД.
2. Какие подсистемы образуют структуру типовой системы УВД?
3. Чем объясняется принадлежность системы УВД к большим системам?
4. Приведите пояснения преимуществ иерархических структур построения систем.
5. Поясните взаимодействие основных элементов в структурной схеме службы движения СССР.
6. Какие основные элементы образуют структурную схему государственной системы УВД США?
7. В чем состоят основные особенности и отличия систем УВД Великобритании, Франции, ФРГ?
8. Приведите структурную схему системы УВД организации «Евроконтроль» и поясните основной смысл ее создания и принципы функционирования.
9. Поясните основные функции всех подсистем типовой структуры системы УВД и необходимость автоматизации процессов в каждой из них.

## 1.3. Основные периоды, этапы и процессы системы УВД

Совокупность сложных задач, стоящих перед системой УВД, требует от нее не только наличия высокоразвитой и постоянно совершенствующейся структуры, но и оснащения ее элементов самыми современными техническими средствами, а также деятельности в рамках службы движения высококвалифицированных специалистов. Грубо говоря, в системе УВД необходимо предусмотреть возможность самонастройки путем изменения самой структуры ее построения, т. е. количества и порядка взаимодействия элементов, а также возможности совершенствования качества самих элементов в структуре системы. Изменение структуры — это прежде всего деление воздушного пространства.

Совершенствование качества элементов связано с совершенствованием работы диспетчерских смен, повышением профессионального уровня диспетчеров, осуществляющих непосредственное УВД с применением новых технических средств УВД, внедрением автоматизации ряда операций. Понятно, что создание и развитие подобной высокоразвитой и постоянно совершенствующейся системы происходит обычно на значительном отрезке времени. При этом условно можно различать период образования (создания) системы УВД и период ее функционирования. Период создания системы зависит от многих факторов и, в частности, от темпов изменения уровня технического оснащения. Период функционирования системы УВД, в свою очередь, условно можно разделить на ряд этапов, циклически повторяющихся с различными временными отрезками. Например, отрезок времени, определяющий продолжительность этапа осуществления непосредственного (оперативного) управления воздушным движением, может быть определен в связи с временем полета данного летательного аппарата в границах заданной зоны ответственности диспетчера или любым другим образом, связанным с функциями непосредственного УВД.

Продолжительность этапа планирования и обеспечения движения летательных аппаратов определяется в зависимости от вида плана и функции планирования и обеспечения движения. При этом часть из операций планирования, таких, как текущее планирование, выполняется при непосредственном УВД. Отсюда и следует условность деления периода функционирования системы УВД на этапы планирования и непосредственного УВД. Более продолжительным является этап организации УВД. Основной смысл этого этапа составляют подготовительные процессы, выполнение которых происходит в условиях функционирования системы УВД при «старых» параметрах организации УВД. Найденные же «новые» параметры накапливаются, проверяются и апробируются обычно за длительный отрезок времени, что и определяет продолжительность этапа организации УВД. Внедрение новых параметров происходит «скачком» без прекращения функционирования системы. Таким образом, можно различать этапы функционирования системы УВД, каждый из которых состоит из совокупности процессов, выполнение которых связано с решением множества отдельных задач, делящихся, в свою очередь, на ряд операций. К таким этапам относятся этапы организации УВД, планирования и обеспечения воздушного движения, осуществления непосредственного (оперативного) УВД.

Этап организации УВД, как один из наиболее емких этапов функционирования системы УВД, включает целый ряд процессов. Перечень процессов и порядок их выполнения зависят в каждом конкретном случае от фактического состояния организации УВД в данной зоне. Однако если рассматривать случай вновь организуемого управления воздушным движением и деятельность службы движения, например, в развивающихся районах, то можно предположить условно некоторый основной перечень процессов организации УВД и порядок их выполнения. В этом случае не существует каких-либо уже выполненных процессов и весь этап организации УВД должен быть проведен в полном объеме. Многие процессы этапа организации УВД выполняются обычно на уровне отдела движения управления с привлечением специалистов службы движения, включая, как правило, руководителей полетов (РП) и заместителя начальника аэропорта (ЗНА). Полученные организационные решения утверждаются УДС МГА, и для их выполнения часто привлекаются другие управления МГА, ведомства и министерства.

Этап организации УВД целесообразно начинать с процесса исследования существующей и прогнозируемой на ближайшие плановые периоды в 5—10—15 лет интенсивности воздушного движения в данной зоне. Получив данные по интенсивности, т. е. определив потребность в УВД и имея решения вышестоящих организаций о строительстве новых и реконструкции действующих аэродромов, вторым процессом следует рассматривать расчет количества, выбор мест и расположения ВПП, проектируемых для строительства. Здесь предполагается участие многих служб МГА.

Следующими процессами организации УВД можно назвать два тесно взаимосвязанных процесса, выполняющихся с учетом результатов, полученных при исследовании предыдущих процессов. Это — решение проблемы рационального деления воздушного пространства и определение обоснованного перечня радиотехнических средств УВД с выбором рациональных точек их размещения. На последнем из этих процессов создается система контроля движения летательных аппаратов. Далее (или параллельно с исследованием предыдущих двух процессов) следует провести расчеты, связанные с установлением трасс полетов в районах рассматриваемой зоны и схемы, коридоров и правил полетов в районах аэродромов данной зоны. Составляются инструкции, регламентирующие порядок проведения полетов и УВД в РА данной зоны, т. е. завершается процесс организации движения летательных аппаратов. После этого определяются количество диспетчерских пунктов, штатное расписание и организация работы службы движения в данной зоне УВД. Сюда входит и организация подготовки и переподготовки диспетчерского состава службы движения, организация системы совершенствования профессионального мастерства, социалистического соревнования и др. Создается система связи и взаимодействия диспетчерских пунктов между собой, смен службы движения с экипажами летательных аппаратов и другими объектами.

Последующим является процесс создания системы планирования и обеспечения движения летательных аппаратов. Здесь составляются документы, регламентирующие деятельность службы движения. Таким образом, для данного конкретного случая выполнения этапа организации УВД возникает возможность записи общего алгоритма, характеризующего последовательность и взаимосвязь проведения исследования процессов. Основными пунктами такого алгоритма и служат названные процессы, выполняемые на этапе организации УВД (рис. 1.6).

Более типичным является случай, когда необходимо принимать решение по проведению организационных мероприятий в условиях уже существующей организации УВД и функционирующей системы УВД. По аналогии с только что описанным общим алгоритмом здесь можно наметить общий порядок исследования ряда процессов, выполнение которых в той или иной мере неизбежно при организации УВД в данной зоне. К таким процессам прежде всего относятся анализ: интенсивности воздушного движения и прогноз интенсивности на ближайшие плановые периоды; состояния безопасности полетов и оценки влияния факторов, связанных с организацией УВД; показателей качества организационных решений и принятие решения по необходимости проведения реорганизации. Если необходимость реорганизации необоснована, то осуществляется переход (возвращение) к первым двум перечисленным процессам, которые выполняются обычно в установленные календарные сроки. Если реорганизация обоснована и принято соответствующее решение, то возникает необходимость в процессе постановки

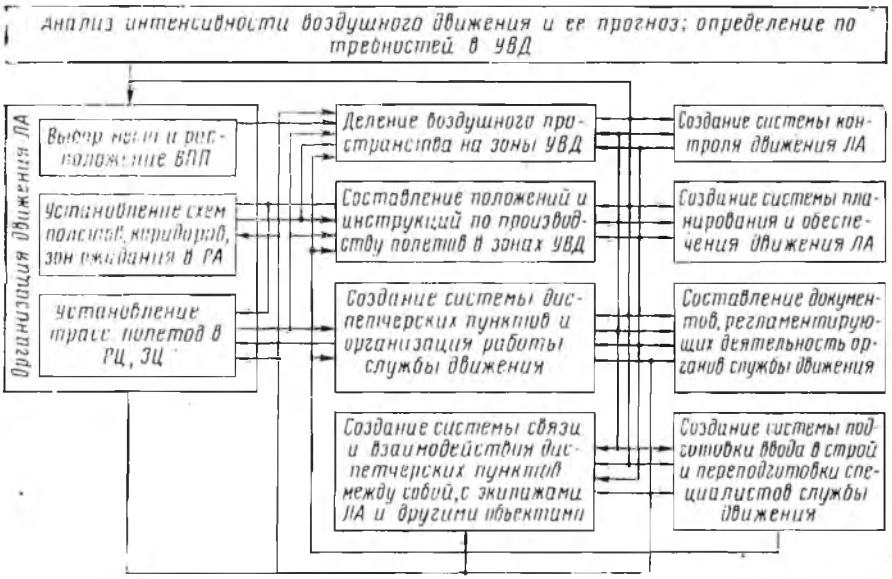



Рис. 1.6. Структурная схема алгоритма организации УВД в заданном районе (зоне)

конкретных задач организационно-структурного вида. Такие задачи должны носить оптимизационный характер поиска наилучших, рациональных организационно-структурных решений. Чаще всего это задачи, образующие этап рационального (нового) деления воздушного пространства, либо задачи изменения структуры трасс и схем полетов процесса организации движения летательных аппаратов, либо задачи совершенствования документации и организации мероприятий по повышению качества работы диспетчерских смен соответствующих процессов.

Повторив несколько раз подобную процедуру исследования, когда на основе ряда процессов анализа принимается решение о проведении реорганизации и выполняются процессы поиска рациональных организационно-структурных решений, устанавливают тенденции и направления развития организации УВД.

Общий алгоритм завершается процессом установления тенденций, который позволяет осуществлять прогноз будущих мероприятий, повышающих качество организации УВД, а значит, и качество функционирования всей системы УВД в целом. В данном случае общий алгоритм этапа организации УВД можно условно представить состоящим из двух групп процессов: анализа качества существующей организации УВД и синтеза новых организационно-структурных решений, наилучших в определенном заранее заданном смысле (рис. 1.7). Завершающий процесс установления тенденций и прогноз развития организации УВД хотя и ближе по

структуре к группе синтеза, но по своему характеру является процессом анализа.

Приведенные перечни и порядок проведения исследования процессов могут меняться в зависимости от конкретных условий. Было бы неправильным считать предложенные общие блок-схемы алгоритмов полными и завершенными. В них, например, отсутствуют перечни задач, решаемые в рамках указанных процессов. Практика проведения организационных мероприятий и повседневная деятельность соответствующих подразделений службы движения по организации УВД более многогранны, разносторонни и соответственно более сложны по своей структуре и взаимосвязям с другими подразделениями и ведомствами, чем это представлено на блок-схемах общих алгоритмов (см. рис. 1.6 и 1.7). Практика деятельности службы движения является богатым источником операций задач и процессов для обобщения и систематизации их в алгоритме организации УВД.

Приведенные общие блок-схемы алгоритмов представляют собой лишь структурные построения, удобные для определения перечня и порядка исследований, в которых практически каждым элементом служит сложный процесс, состоящий из множества самостоятельных задач и операций.

Перечень процессов может быть детализирован в виде блок-схемы алгоритма совокупности взаимосвязанных задач для каждого из процессов так же, как и каждая из задач может быть представлена в виде перечня основных операций. Таким образом

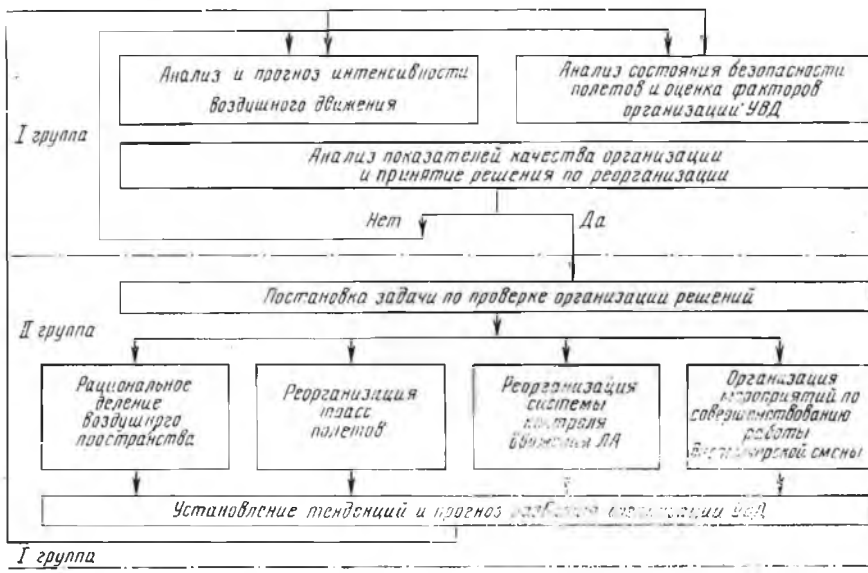



Рис. 1.7. Структурная схема алгоритма совершенствования организации УВД в заданной зоне

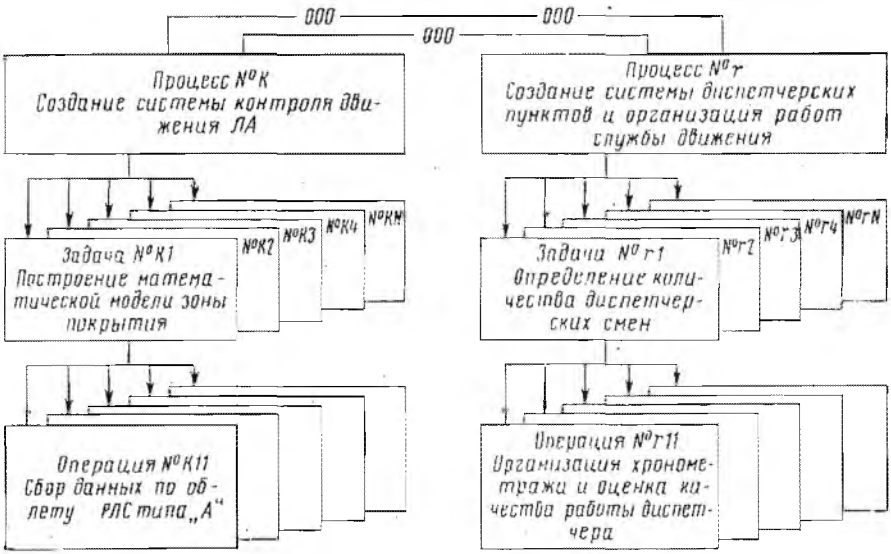



Рис. 1.8. Структурная схема декомпозиции процессов этапа организации УВД

осуществляется принцип декомпозиции — разбиение одной сложнейшей проблемы организации УВД, методов решения которой в целом на сегодняшний день не существует, на ряд более простых мелких иерархически построенных проблем, условно названных соответственно процессами, задачами и операциями. Сущность определяется не названием, а уровнем сложности, которая во многом зависит от математической модели каждой из операций, образующих задачу, и каждой из совокупности задач, образующих процесс (рис. 1.8).

Значительная часть операций и задач формализуется с помощью математической модели сравнительно просто. А те из них, которые представляют наибольшую значимость и параметры которых чаще других упоминаются в качестве факторов, влияющих на безопасность полетов, регламентируются документами МГА. Так, например, процессы, связанные с решением совокупности задач по расчету схем полетов в РА, определения минимумов для взлета и посадки и другие оговариваются в виде методик.

Алгоритмизация подобного процесса, выполнение которого определено методикой, может быть практически всегда реализовано с помощью любого алгоритмического языка в виде программы для ЭВМ. Таким образом, возникает совокупность (пакет) программ, используя которые с помощью специальной программы-супервизора можно было бы осуществить автоматизацию выполнения всего этапа организации УВД. Однако многие операции, задачи и процессы в общих алгоритмах организации УВД пока не поддаются полной формализации и не могут быть записаны в на-

стоящее время в виде программ. К ним, например, относятся процессы: полной и достоверной оценки общего качества организации и принятия решения о проведении мероприятий по реорганизации УВД в данной зоне; организации оптимальных коллективов диспетчерских смен; совершенствования деятельности службы движения и др. Значительная часть операций, задач и процессов уже сейчас может быть реализована в виде программ, другая часть процессов исследуется с целью моделирования и оптимизации. Поэтому можно утверждать, что общее направление автоматизации процессов УВД в полной мере относится и к такому основному этапу функционирования системы УВД, как этап организации УВД.

В еще большей степени утверждение о тенденции нарастания уровня автоматизации справедливо для этапа планирования и обеспечения воздушного движения, так как только комплексное внедрение автоматизации процессов УВД в конечном итоге предполагает получение более высоких показателей безопасности и регулярности полетов, надежности работы всей системы УВД. Поэтому можно говорить, что значение этапа планирования будет возрастать по мере более широкого внедрения автоматизации процессов УВД.

На этом этапе можно выделить целый ряд процессов и отметить специфические черты задач и операций, как это было и на этапе организации УВД. В целом этап планирования и обеспечения воздушного движения образует несколько видов планирования и обеспечения. Например, существует предварительное и текущее планирование. При этом предварительное планирование, в свою очередь, обычно делится на долгосрочное, суточное и оперативное, а текущее планирование осуществляется, как правило, уже при непосредственном УВД. Еще раз подчеркнем условность деления периода функционирования системы УВД на этапы, которые проводятся лишь для большей детализации процессов УВД и так, чтобы устранить возможность потери основного смысла УВД за громадным числом операций по его выполнению. Деление на этапы соответствует современному уровню технического оснащения системы.

Можно предположить, что при дальнейшем совершенствовании системы УВД и бортовых навигационных комплексов появится возможность определять не только планы полетов отдельного летательного аппарата по установленным общим для всего потока трассам и схемам полетов, а и программировать полет каждого отдельного летательного аппарата либо какой-то их группы в определенной зоне по своим «индивидуально-групповым» траекториям, наилучшим в определенном смысле. Так приходят к идее зональной навигации и УВД. Здесь уже пересекаются процессы, задачи и операции этапов организации УВД и планирования воздушного движения, так как выбор трасс и схем полетов ранее осуществлялся на этапе организации УВД, а сам этап планирования и обеспечения полетов в данном случае более правильно бы-

ло бы называть этапом программирования и обеспечения воздушного движения.

Этап планирования и обеспечения воздушного движения должен соответствовать степени технического оснащения системы УВД, степени автоматизации этапов организации УВД и осуществления непосредственного УВД. Считая в настоящее время наиболее характерным видом планирования для этапа планирования и обеспечения воздушного движения предварительное планирование в виде построения суточного плана полетов, можно назвать следующие основные его процессы. К первому относится сбор определенного перечня данных о техническом состоянии самолетов, аэродромов и их оборудования и других данных накануне дня полетов, а также сведений о прогнозируемой метеорологической и воздушной обстановке в данной зоне накануне полетов. Второй процесс состоит в учете расписания полетов (долгосрочные предварительные планы), нарядов летных подразделений, базирующихся на данном аэродроме, заявок экипажей транзитных задержанных рейсов, планов на вылет летательных аппаратов смежных аэродромов и ведомственной авиации. В качестве третьего процесса разрабатывается проект суточного плана вылетов летательных аппаратов. Таким образом, здесь взаимосвязаны процессы обработки собранной информации и учета заявок. Разработанный в АДП суточный план содержит номера рейсов, маршруты полета, данные о летательных аппаратах, их командирах, загрузке и времени вылета и является оперативным документом, на основании которого планируется практически вся работа по обеспечению воздушного движения со стороны служб аэродрома (рис. 1.9).

До окончательного утверждения суточного плана отдельного аэродрома необходимо произвести координацию совокупности проектов суточных планов с целью предотвращения возможности возникновения конфликтных ситуаций и перегрузок зон (секторов) районных центров УВД, полеты по трассам которых планируются из нескольких аэродромов. Для осуществления процесса координации также выполняется ряд операций по сбору и учету информации о планах полета по трассам, характеристике трасс, анализу пересечения маршрутов и наличия режимов, запрещенных зон и др. Координация осуществляется с целью согласования интенсивности планируемых полетов летательных аппаратов с пропускной способностью зон УВД. Проводя изменения (коррекцию) моментов пролета летательными аппаратами различных рейсов определенных пунктов, достигают заданного уровня такого согласования. Принятые изменения моментов времени пролета определенных пунктов повлекут за собой и изменения в проектах суточных планов. Повторяя согласование несколько раз, получают и утверждают окончательные их варианты, которые и служат основными оперативными документами, рассылка которых осуществляется в соответствии с обязательным перечнем пунктов рассылки.



1162377

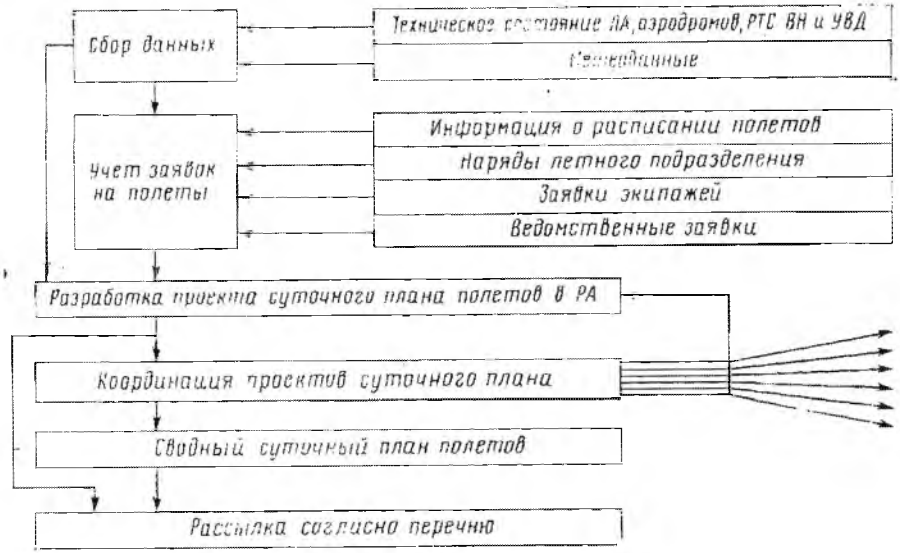



Рис. 1.9. Структурная схема алгоритма предварительного суточного планирования

Часто результатом такого процесса координации можно считать сводный суточный план полетов в какой-либо зоне УВД, например в управлении гражданской авиации либо регионе, включающем несколько управлений. Перечисленные процессы только одного из видов планирования показывают всю сложность информационного обмена между элементами, осуществляющими планирование в системе УВД, циклический характер процессов координации и разработки планов. При значительной интенсивности воздушного движения справиться с такими операциями по сбору и обработке значительных потоков информации можно лишь с помощью высокопроизводительных вычислительных комплексов, вооруженных математическим обеспечением с наличием алгоритмов рационального планирования. Таким образом, речь идет о широком внедрении автоматизации процессов этапа планирования и обеспечения воздушного движения.

На этапе осуществления непосредственного УВД также можно выделить целый ряд наиболее характерных процессов. Первым процессом этапа непосредственного УВД можно считать сбор и восприятие диспетчером информации о действительной динамической воздушной обстановке. Сюда относятся в основном операции идентификации летательных аппаратов, оценка ситуации и др. На основе действительной динамической обстановки и с учетом планируемого движения осуществляется прогноз развития динамической воздушной обстановки. Процесс прогнозирования охватывает обычно не только движение летательных аппаратов, но и метеорологические и другие факторы. На основе такого прогноза

диспетчер принимает решение о необходимости вмешательства в развитие динамической воздушной обстановки (ДВО). Если вмешательства не требуется, то в алгоритме деятельности происходит возврат к первому процессу. Если же принято решение о необходимости изменения состояния динамической воздушной обстановки, то следующим служит процесс выработки решения об образе дальнейших действий: то ли вырабатывать содержание и время выдачи команд для приведения действительной динамической обстановки в соответствие с плановой (если это еще возможно), то ли разрабатывать новый текущий план полетов и осуществлять выработку команд по коррекции плана полетов, сообщений о новом плане смежным диспетчерским пунктам и т. д.

В первом из рассмотренных вариантов решений осуществляется ожидание выбранного момента подачи команд и выдача команд экипажам летательных аппаратов, а также контроль за выполне-

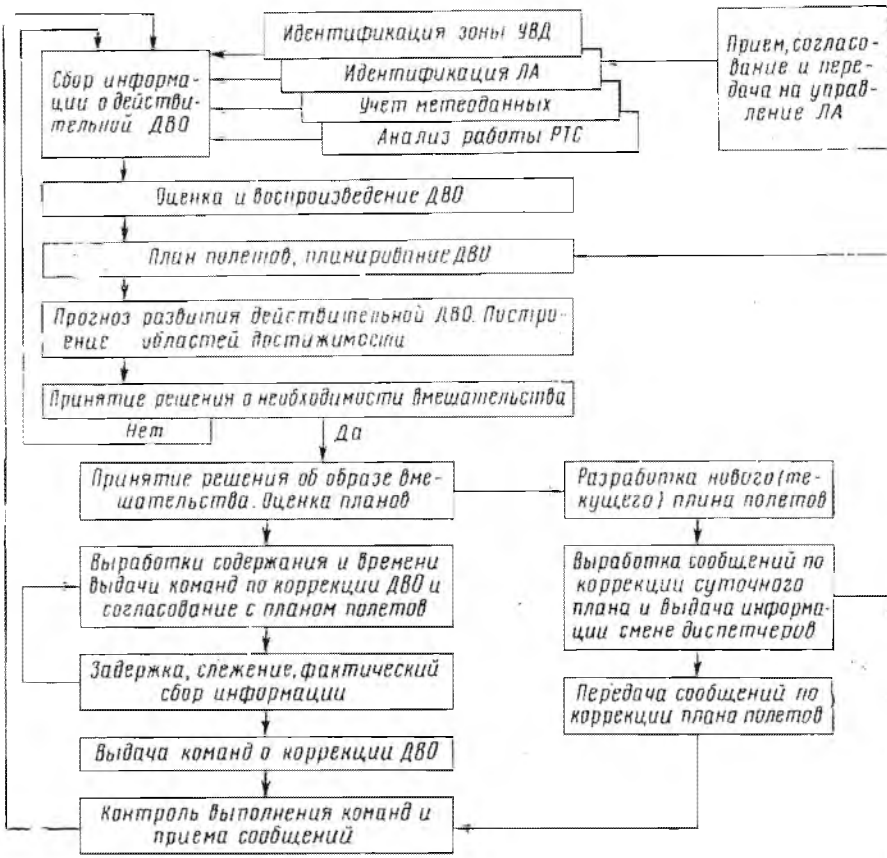



Рис. 1.10. Структурная схема алгоритма деятельности диспетчера при непосредственном УВД.

нием команд, который соответствует процессу сбора и восприятия информации о действительной воздушной обстановке. Во втором варианте разрабатывается новый текущий план полетов, содержание сообщений по корреляции плана полетов и их передача. Контроль за приемом сообщений выполняется одновременно с операцией контроля в первом варианте.

Таким образом, образуется структурная схема алгоритма деятельности диспетчера на этапе непосредственного УВД (рис. 1.10).

Описанный перечень процессов этапа непосредственного УВД включает множество отдельных задач и операций. Часто для возможности их своевременного выполнения на диспетчерском пункте работает не один диспетчер, а целый коллектив (помощник диспетчера, диспетчер-дублер, стажер, оператор) либо производится деление зоны ответственности данного диспетчерского пункта на несколько секторов с тем, чтобы уменьшить нагрузку на каждого из них в отдельности. Понятно, что попытка использовать такие экстенсивные способы учета нарастания сложности и числа операций в процессах непосредственного УВД с ростом интенсивности полетов ограничено по самому своему существу. Дело в том, что действия коллектива так же, как и действия смежных диспетчерских пунктов, должны быть строго согласованными. На согласование действий требуются определенные затраты времени, и при увеличении числа участников коллективного УВД общие затраты будут естественно расти. Именно поэтому более прогрессивным считается другой способ учета нарастания сложности и числа операций, связанный с интенсификацией труда, т. е. с повышением производительности диспетчера с помощью широкого внедрения автоматизации процессов непосредственного управления воздушным движением.

**Контрольные вопросы**

1. Охарактеризуйте периодичность развития системы УВД во времени и назовите основные периоды ее развития.

2. Перечислите основные этапы функционирования системы УВД.

3. Приведите перечень основных процессов этапа организации УВД для варианта новой организации УВД в данной зоне.

4. Какие основные группы элементов-процессов образуют блок-схему общего алгоритма организации УВД для случая совершенствования существующей организации?

5. Дайте общую характеристику блок-схемы алгоритмов организации УВД в обоих рассмотренных случаях.

6. Приведите перечень и последовательность основных задач и операций какого-либо наиболее известного вам процесса из этапа организации УВД.

7. В чем состоит сущность общего направления автоматизации этапа организации УВД?

8. Какие основные процессы характерны для этапа планирования и обеспечения воздушного движения?

9. Приведите блок-схему алгоритма осуществления непосредственного УВД и поясните основные возможные направления учета нарастания числа и сложности операций в процессах непосредственного УВД.

## 1.4. Комплексный характер процессов в системе УВД

Автоматизация процессов в системе УВД на различных этапах ее функционирования основывается на регулярном применении современных математических методов и вычислительной техники для получения, хранения, рассылки, учета, анализа, планирования и организации информации, необходимой для деятельности всех элементов системы, а также выработки, отображения и выдачи управляющих команд.

Считая осуществление непосредственного управления движением одиночного либо совокупности летательных аппаратов в данной зоне в стандартных условиях наиболее распространенной общей задачей УВД, можно сформулировать задачу оптимизации такого управления, назвав ее «основной» для процессов, наиболее характерных на этапе непосредственного УВД, и проследить ее взаимосвязь с другими важнейшими задачами оптимизации процессов на других этапах функционирования системы УВД. Это позволит показать комплексный характер основной задачи, а также оценить основные виды задач оптимизации, характерные для системы УВД, выявить некоторые общие их свойства и наметить общую схему исследования задач оптимизации процессов в системе УВД с целью построения математического обеспечения АС УВД.

Пусть движение каждого $s$-го летательного аппарата определено программой в виде траектории и плана полета

$$y_i^{(s)}(t_k) = F_i^{(s)}(t/t_k),$$

где $i = \overline{1,\ n}$ — число компонент вектора состояния в программном движении; $s = \overline{1,\ N}$ — число летательных аппаратов в совокупности; $k = \overline{1,\ M}$ — число контрольных точек в данной зоне УВД.

Действительное движение воздушных судов происходит по траектории и плану, отличным от программы, а измеренные с помощью технических средств значения компонент вектора состояния

$$x_j^{(s)}(t_k) = F_j^{(s)}(t/t_k) + v_j^{(s)}(t_k),$$

где $j = \overline{1,\ m}$ — число компонент вектора состояния, доступное измерению; $v_j^{(s)}(t_k)$ — помеха, природа которой будет определена ниже.

С помощью известных преобразований координат по измеренным компонентам находят отклонения в момент $t = t_k$:

$$q_l^{(s)}(t_k) = y_l^{(s)}(t_k) - \sum_{j=1}^{m} h_{lj}(t_k)\, x_j^{(s)}(t_k), \quad (l = \overline{1,\ n}). \tag{1.4}$$

Отклонения $q_i^{(s)}(t_k)$ и найденное с их помощью прогнозируемое возможное положение летательного аппарата в виде области достижимости $G_q^{(s)}(t)$ являются основными сигналами простейшего контура системы УВД, на основании которых и происходят

выработка и принятие решения диспетчером. Изменения отклонений $q_l^{(s)}(t_k)$ вдоль программной траектории, определяющие область $G_q^{(s)}(t)$, подчиняется системе дифференциальных уравнений, один из видов которой для случая, допускающего линеаризацию, может быть представлен как:

$$\dot{q}_l^{(s)}(t) = \sum_{l=1}^{n} a_{ll}^{(s)}(t) q_l^{(s)}(t) + \sum_{r=1}^{m} b_{lr}^{(s)}(t) u_r^{(s)}(t) + \omega_l^{(s)}(t); \tag{1.5}$$

$$q_l^{(s)}(t_0) = q_{l0}^{(s)};$$

$$| u_r^{(s)} | \leqslant u_r; \; u_r^{(s)} \in G_u^{(s)}, \tag{1.6}$$

где $a_{ll}^{(s)}$, $b_{lr}^{(s)}$ — параметры, при задании которых система (1.5) полностью определена; $\omega^{(s)}$ — возмущение, природа которого, как помехи $v$, определяется позже; $u$ — управление, реализующее команды диспетчера; $G_u^{(s)}$ — предпочтительный ряд управлений, определяющихся допустимым множеством команд диспетчера согласно регламентирующим документам.

Основной задачей оптимизации процесса на этапе непосредственного УВД можно считать следующую. Найти такие $u_r$, при которых отклонения $q_{l0}^{(s)}$ «затухнут» в соответствии с решением уравнений (1.5), обеспечив экстремум комплексного показателя эффективности $J_\Sigma$, включающего, например, в виде частных такие показатели $I_\nu$, как быстродействие, точность, гладкость (комфортные условия движения для пассажиров), число команд, т. е.

$$J_\Sigma = \sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_\nu I_\nu(q, u). \tag{1.7}$$

В соответствии с процедурами учета многоцелевого характера процессов множество частных показателей должно включать показатели, обладающие свойством аддитивности, приведенные к безразмерному виду и единому направлению оптимизации. Окончательная формулировка каждой конкретной задачи оптимизации на этапе непосредственного УВД зависит от тех технических средств, которые используются при УВД, качества процессов и решений, принятых на этапе организации и планирования, т. е. от вида зоны, в которой осуществляется УВД, и других условий.

Ценность учета комплексного характера процессов и задач и использование адекватного комплексного подхода, реализующего принцип декомпозиции, существенно повышается, если в частных задачах оптимизации удается учесть характеристики, полученные при более общем подходе в виде общих рекомендаций и выводов. В этом случае наилучшим образом достигается взаимосвязь между основными выводами, выявленными в рамках общего подхода и рекомендациями. Сущность одного из возможных методов комплексного исследования задач оптимизации и рационального при-

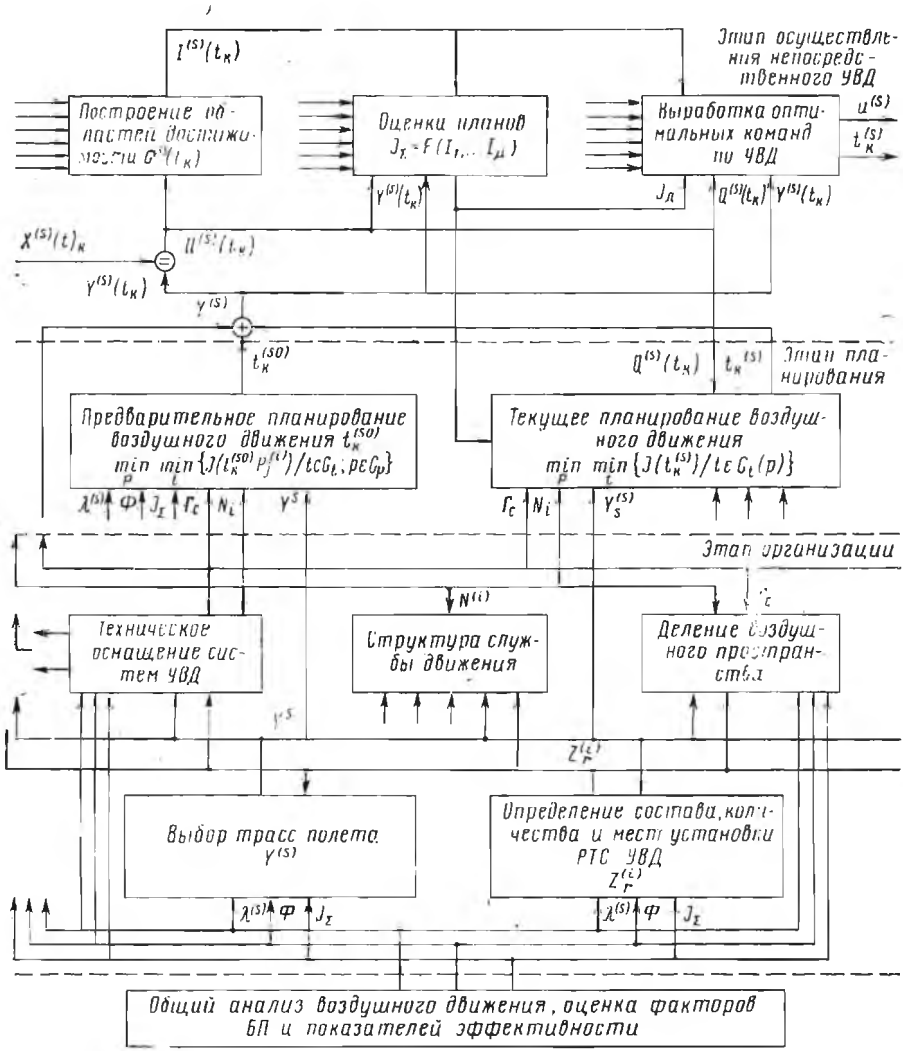



Рис. 1.11. Иерархическая система взаимосвязи этапов и процессов при функционировании системы УВД

нятия решений в системе УВД состоит в построении иерархической системы взаимосвязанных процессов и задач оптимизации, включающей: уровни общего анализа факторов, позволяющего получить выводы и рекомендации общего характера; формулировку и решение задач оптимизации для процессов на этапах организации УВД, планирования и обеспечения воздушного движения; постановку и решение задач для процессов на этапе осуществления непосредственного УВД (рис. 1.11).

Выводы и рекомендации самого общего характера относительно основных направлений развития и совершенствования системы УВД, получение которых составляет смысл низшего уровня иерархии, сводятся к выводу о том, что основными показателями эффективности системы УВД является достижение максимального эффективного использования зон УВД и регулярности полетов при условии обеспечения безопасности воздушного движения. Такое разделение показателей и ограничений является условным, так как, используя основные результаты теории двойственности, практически всегда допустимо формулировать связанные двойственные задачи с показателями, которые в исходной задаче были ограничениями и наоборот. По отношению к системе УВД необходимо учитывать, что оценка деятельности такого ее основного звена, как служба движения, включает обязательно и степень выполнения ограничений. Здесь также сказывается личностный фактор. Поэтому если для всей системы УВД одним из показателей может с успехом служить пропуская способность зон УВД, то для отдельных ее элементов, таких, например, как служба движения, в качестве одного из основных показателей может выступать уровень гарантийной оценки безопасности полетов. Из общего анализа ясно, что пути достижения экстремальных значений показателей при учете ограничений по безопасности полета базируются в основном на следующих основных факторах: рациональном проектировании и совершенствовании деятельности оператора системы УВД (диспетчера, пилота), в том числе при работе его в автоматизированной системе; использовании оптимальных организационных решений получаемых на базе автоматизации процессов на этапе организации УВД; исследовании и разработке оптимальных планов воздушного движения; внедрении наиболее передовых технических средств, обеспечивающих рациональный уровень автоматизации процессов на этапе непосредственного УВД.

Любая из задач локальной оптимизации применительно к процессам в системе УВД будет лишь тогда отвечать требованиям общего характера, если в ней учитываются аспекты всех перечисленных факторов. При этом учете замыкается связь уровней иерархической системы, что и составляет смысл комплексного подхода и метода решения задач, связанных с исследованиями, процессов в системе УВД, в том числе задач рационального принятия решения при осуществлении непосредственного управления.

**Контрольные вопросы**

1. Чем в основном определяется возможность широкого внедрения автоматизации процессов УВД?
2. Поясните смысл принципа декомпозиции и опишите общие направления его использования при исследовании процессов УВД.
3. Покажите взаимосвязь процессов на различных этапах функционирования системы УВД.
4. Приведите постановку основной задачи оптимизации процессов этапа непосредственного УВД.
5. Дайте пояснения взаимосвязи процессов различных этапов на примере основной задачи.

6. В чем состоит основной смысл комплексного подхода, реализующего принцип декомпозиции?

7. Какие основные факторы необходимо учитывать в постановке задач оптимизации применительно к процессам УВД?

8. Приведите описание иерархической системы исследования и выполнения процессов, задач и операций.

## Глава 2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УВД

### 2.1. Состояние процессов УВД. Вектор и количественные характеристики состояния

В общей схеме автоматизации процессов УВД моделирование занимает одно из центральных мест. Здесь рассматривается сущность автоматизации, т. е. методы и алгоритмы, описывающие основные процессы УВД, а не технические средства, реализующие автоматизацию в виде приборов, устройств либо целых систем. Хотя вопросы технической реализации не менее важны (описанию их посвящено значительное число публикаций), проблемы математического обеспечения автоматизации процессов УВД в значительной мере менее известны [1, 2].

Основой математического обеспечения процессов в системе УВД служат математические модели. Их построение практически всегда оставалось творческой деятельностью исследователей, для которой не существует шаблонов, штампов и заранее известных решений. Обычно исследование систем УВД на разных этапах их функционирования производится путем выделения в них процесса, достаточно полно отражающего исследуемую сторону системы. Затем вводятся количественные характеристики подобных процессов и исследуются уже только количественные характеристики, дающие представление о состоянии и изменении состояния выделенного процесса. В выделении такого процесса, выборе и описании состояния и изменении состояния количественной его характеристики и состоит моделирование процессов в системах УВД. При этом под состоянием процессов УВД понимают введенные количественные характеристики, которые служат моделью процесса.

Моделирование является распространенным методом количественной и качественной (в зависимости от вида моделей) оценки процессов в любых системах.

Обычно моделью считают какое-либо, но обязательно более простое, подобие исследуемого процесса. При решении основной задачи УВД для выработки оптимальной команды управления диспетчеру необходимо уметь прогнозировать развитие динамической воздушной обстановки. Можно представить себе устройство, которое тоже с не меньшей точностью смогло бы осуществить

такой прогноз развития динамической воздушной обстановки. Подобное устройство служило бы моделью процесса прогнозирования, и только, так как диспетчер способен выполнять и другие, гораздо более сложные функции, для повторения которых понадобилось бы введение других устройств с еще более сложной структурой и т. д.

Таким образом, модель является приближенным или упрощенным представлением состояния и изменения состояния любого конкретного процесса исследуемой системы и дает возможность анализировать и синтезировать различные по своей природе процессы системы едиными методами. Понятие модели основывается на наличии некоторой адекватности, т. е. подобия, соответствия между количественными характеристиками двух процессов, один из которых происходит в реальной системе, а другой в модели. Если такая адекватность устанавливается в отношении выбранных необходимых количественных либо качественных характеристик, отражающих состояние процессов в каком-либо заданном определенном смысле, то говорят, что между этими процессами существуют отношения оригинала и модели, т. е. один из процессов рассматривается как оригинал, другой как модель. При этом адекватность или подобие так же, как и различие между оригиналом и моделью, могут быть использованы в различных аспектах. Например, можно потребовать от модели лишь изменения (уменьшения) геометрических размеров либо скорости протекания процесса.

Большое значение при этом имеет понятие упрощенной модели, позволяющее изучать процессы сложной природы с помощью моделей, в которых сохранены лишь те черты оригинала, которые существенны для круга изучаемых явлений. Такими чертами могут служить внешнее сходство, когда речь идет о таком виде моделей, как макетирование, сходство структуры и, наконец, одно из важнейших сходств — сходство в изменении состояния процессов, описываемое изменением количественных их характеристик.

Для того чтобы конкретным образом говорить о соответствии двух процессов либо процесса и его модели, необходимо сначала ввести количественные характеристики процессов. Обычно начинают с введения возможно более полного по исследуемым свойствам и наименьшего по составу набора выходных параметров, при наблюдении за которыми можно было бы судить о характере процесса. Так возникает понятие вектора состояния процесса $X(t) = (x_1(t), \ldots x_n(t))'$. Каждая из компонент вектора состояния $x_s(t)$ характеризует одно из определенных свойств процесса. Например, при наблюдении процесса движения летательного аппарата можно назвать $x_1(t)$ — продольную координату положения летательного аппарата относительно декартовой системы координат, $x_2(t)$ — боковую его координату, $x_3(t)$ — высоту, $x_4(t)$ — продольную, $x_5(t)$ — боковую, $x_6(t)$ — вертикальную составляющие вектора, скорости полета и $x_7(t)$ — остаток топлива. Полученный при этом вектор $X(t) = (x_1(t), \ldots, x_7(t))'$ часто употребляется для

оценки состояния данного летательного аппарата в общей динамической воздушной обстановке зоны УВД.

Компоненты вектора состояния при моделировании процессов в известной степени аналогичны обобщенным координатам в классической механике. Аналогия подтверждается еще более полно, если говорить о пространстве состояния, которое образуется компонентами $x_k(t)$, рассматриваемыми как оси координат. Состояние процесса в таком пространстве определяется тогда вполне определенной точкой. Общее понятие состояния процесса, нашедшее в настоящее время наиболее широкое применение при исследовании сложных систем, было введено впервые в 1936 г. английским инженером-математиком Аланом Мэтисоном Тьюрингом, создавшим теорию универсальных автоматов и первую универсальную вычислительную машину в Англии [3]. Аналогичный подход нашел широкое применение при исследовании проблем теории управления и автоматики в 1942—1949 гг. в работах советских ученых А. А. Андронова, А. И. Лурье, А. М. Летова [4—7], а также в 50-е годы в США главным образом в работах Ричарда Беллмана [8]. Наиболее полное и завершающее развитие понятия пространства состояний и подхода к исследованию сложных систем методами пространства состояний получено в современной теории управления и сложных систем [9, 10].

Для оценки адекватности модели и процессов стоило бы, задавшись вектором состояния, оценить «схожесть» изменений этого вектора при одинаковых условиях. В качестве таких условий можно, например, рассматривать внешние воздействия, управляющие сигналы, действующие на процесс и соответственно на модель и т. д. Можно представить себе линию со шкалой «схожести», где полное абсолютное совпадение изменения вектора состояния модели и процесса служит началом, а другие положения определяют различные степени нарастающего различия при одних и тех же исходных условиях. Так определяется такой вид переменных, как входные сигналы, обобщающие внешние условия в виде вектора **входа**.

Сопоставление модели и реального процесса теперь можно проводить, пользуясь введенными понятиями метода пространства состояний (рис. 2.1). При таком сопоставлении модель называют изоморфной, если между моделью и оригиналом, т. е. реальным процессом, наблюдается полное соответствие. Чтобы пояснить понятие «полное соответствие», рассмотрим случай, когда состояние процесса определяется его входными сигналами $u(t) = (u_1(t), \ldots, u_m(t))$ и выходными сигналами $X(t) = (x_1(t), \ldots, x_n(t))'$, которые и определяют в конечном итоге количественные характеристики процесса.

Если два процесса характеризуются идентичными наборами входных и выходных сигналов и изменение их состояний $X_M(t)$ и $X(t)$ одинаковы при изменении входа $u(t)$, то говорят об их изоморфизме или о **полном соответствии**. Изоморфные процессы неотличимы друг от друга при наблюдениях только входных и выходных компонент их векторов $u(t)$ и $X(t)$. Однако во многих случаях изоморфные модели ока-

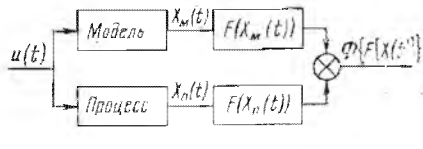



Рис. 2.1. Сопоставление модели и реального процесса

зываются чрезвычайно сложными и неудобными для практического использования из-за того, что число компонент вектора $X_{\text{м}}(t)$ оказывается большим. Условия изоморфности не являются необходимыми условиями соответствия модели оригиналу во всех случаях исследования свойств процесса.

Часто модель может быть использована также и тогда, когда ее соответствие оригиналу не столь полно, как этого требуют условия изоморфности. Так, например, если среди количественных характеристик процесса, определяющих его вектор состояния, выделить существенные и менее существенные по отношению к задаче, исследуемой на данном процессе характеристики, то можно потребовать от модели соответствия оригиналу лишь в отношении существенных. Тогда вместо оригинала с размерностью пространства состояний $n$ получают упрощенную модель с размерностью пространства состояний $k<n$. Упрощение в модели может быть получено не только путем уменьшения числа компонент вектора состояния, но и объединения некоторого множества состояний в одно, т. е. в результате грубого рассмотрения изменения состояния во времени. Так иногда динамический процесс со сравнительно коротким переходом из одного состояния в другое может быть изучен с помощью статистической модели, адекватной оригиналу в его конечном состоянии.

Процесс, полученный из исходного процесса в реальной системе путем упрощения за счет уменьшения размерности вектора состояния или более грубой оценки изменения его состояния во времени, называют гомоморфной или упрощенной моделью исходного процесса. Можно сказать, что гомоморфная модель содержит элементы, соответствующие лишь крупным частям оригинала, но полное поэлементное соответствие между ними отсутствует. Отношения между оригиналом и его моделью неравноценны, так как оригинал не может рассматриваться гомоморфно для модели (в отличие от изоморфного случая). В качестве примера можно снова использовать процесс управления движением летательного аппарата. Для пилота существенными величинами при этом являются все компоненты вектора скорости центра масс летательного аппарата и его положения в заданной системе координат, значения углов и угловых скоростей движения летательного аппарата вокруг центра масс, а также положение всех органов управления и многие другие параметры. Диспетчера районного центра системы УВД, управляющего воздушным движением группы летательных аппаратов в данной зоне, интересуют лишь компоненты положения центра масс группы летательных аппаратов и (в меньшей степени) вектора линейной их скорости. Такая замена исходного пространства состояний по отношению к одному летательному аппарату (включающая множество значений всех его компонент) пространством, состоящим из четырех — шести компонент, означает переход к гомоморфной модели.

Приведенные рассуждения касались, так сказать, идейной стороны моделирования. Кроме этого, существует формальная или

внешняя сторона моделирования, касающаяся формы и вида моделей. При исследовании сложных систем в настоящее время широко используются три вида моделей: блок-схема, или графы систем, математические модели и физические модели. Блок-схемы, или графы, называют иногда «иконографическими» моделями. Они используются для представления структуры систем и соответствующих ей функциональных взаимосвязей. Примером иконографической модели для системы УВД является блок-схема совокупности простейших контуров управления летательный аппарат — пилот — радиопереговорное устройство — диспетчер — радиолокатор — летательный аппарат, представленных на рис. 1.1. Стрелки в блок-схеме показывают направления потоков сигналов, управляющих процессами или несущих информацию о состоянии процессов в системе. Понятно, что такая модель дает лишь структурное представление в системе. Для более полного исследования больше подходят физическая или математическая модель.

Сущность физических моделей состоит в использовании результатов формального подобия между некоторыми компонентами процессов, происходящих в реальных системах и гомоморфных моделях, различных с оригиналом по своей физической природе и общему устройству. Примерами физического моделирования могут служить электрические аналоги механических или пневмо-гидравлических систем. В системах УВД физическое моделирование используется при построении имитаторов и тренажеров [11, 12]. Наиболее полное представление о зависимости выходных характеристик системы от входных обычно можно получить с помощью математического моделирования процессов.

Математические модели отражают зависимости между входами и выходами системы посредством графиков, табличных значений, программ для ЭВМ, уравнений, систем уравнений либо неравенств, указывающих допустимые диапазоны изменения величины. При наличии полной математической модели она является удобным средством анализа процессов, происходящих в реальной системе. Математической моделью системы обычно считают описания на каком-либо формальном языке изменений наиболее существенных компонент количественной характеристики состояния процесса. С помощью формальных процедур над такими описаниями можно получить ряд выводов и суждений об интересующих исследователя чертах изучаемого процесса. В этом и состоит смысл анализа процессов систем с помощью математического моделирования. Далее везде, где только речь идет о моделях, имеются в виду математические модели. Математические модели не могут быть всеобъемлющими и идеально отражать изменения состояния процесса; они описывают не реальную систему, а ее гомоморфную, упрощенную модель.

Обычно построение математической модели является процедурой, которая не следует никакому конкретному неизменному примеру или образцу. Здесь можно лишь говорить о единых требованиях к модели. Существенным требованием является близость

заданной характеристики модели и оригинала. Это требование иногда может быть выражено с помощью введения обобщенной характеристики (например, функции Ляпунова, или показателя эффективности модели). В настоящее время при математическом моделировании процессов УВД используются два подхода, в соответствии с которыми модели процессов рассматриваются либо как характеристики дискретных объектов управления — летательных аппаратов, либо как характеристики непрерывных транспортных потоков, образованных совокупностями прилетающих, пролетающих и вылетающих летательных аппаратов. В первом из рассматриваемых случаев вводится вектор состояния и возникает возможность количественной характеристики динамической воздушной обстановки в зоне УВД. Во втором также используются количественные характеристики, такие, как интенсивность, плотность воздушного движения и другие, т. е. вводятся функции, описывающие изменение состояния процесса полета не одного летательного аппарата, а какой-то их совокупности, образующей поток. Как и в том, так и в другом случае при моделировании речь идет о близости модели и реального процесса. Если процесс характеризуется количественной мерой — измеряемыми величинами компонент вектора состояния $X(t) = (X_1(t), \ldots, X_n(t))$ либо «непрерывными» характеристиками в виде функций, описывающих состояние потока летательных аппаратов, а математическая модель задана в виде соотношений, определяющихся аргументами, в качестве которых взяты компоненты вектора состояния либо непрерывные характеристики (интенсивность) потока, то модель является пригодной только при выполнении условий:

$$\begin{aligned} \Phi_{(1)}\{\,|\,F_{(1)}[X(t)] - F_1[X_м(t)]\,|\,\} &\leqslant \varepsilon_1(t,\ X); \\ \Phi_{(2)}\{\,|\,F_{(2)}[\lambda(t)] - F_{(2)}[\lambda_м(t)]\,|\,\} &\leqslant \varepsilon_2(t,\ \lambda), \end{aligned} \tag{2.1}$$

где $\varepsilon_{1,2}$ — наперед заданная функция времени и компонент вектора состояния процесса или интенсивности потока; $F_{1,2}$ — функция, являющаяся обобщенной характеристикой процесса; $\Phi_{(1,2)}$ — функционал, т. е. функция от $F_{(1,2)}$, характеризующая близость процесса и модели.

Другим требованием к математической модели является возможно большая ее простота. Вследствие противоречивости требований построение модели часто предполагает, кроме научного подхода, проявление некоторого искусства или интуиции.

Задача построения математической модели может быть сформулирована как задача оптимизации — найти такую допустимую по условию (2.1) модель, простота которой была бы наибольшей. Она может быть решена лишь в случае формализации требования простоты в виде конструктивного показателя эффективности. Принимая во внимание сложность построения математических моделей процессов на всех этапах функционирования системы УВД, необходимо понимать те преимущества, из-за которых математическое моделирование, необходимое при автоматизации процессов

УВД, стало одним из основных методов исследования и совершенствования систем УВД. К ним в первую очередь относятся следующие:

наличие математических моделей процессов позволяет проводить численное экспериментирование при исследовании их характеристик, что гарантирует полную безопасность системы;

масштабы времени в численных исследованиях моделей процессов могут быть существенно меньше реального масштаба времени протекания действительного процесса, что ускоряет исследования и позволяет получить ряд качественных результатов;

воспроизводимость исследования математических моделей позволяет устанавливать причины и предпосылки неожиданных результатов, что часто невозможно в реальной системе;

проведение экспериментов с помощью математических моделей экономически более выгодно, чем экспериментирование на реальной системе.

Эти преимущества послужили обоснованием достаточно широкого внедрения методов математического моделирования процессов УВД не только при автоматизации, но и с целью анализа качества функционирования отдельных элементов системы УВД, выработки рекомендаций по реорганизации структуры систем, вопросов организации воздушного движения и многих других.

**Контрольные вопросы**

1. В чем состоит смысл моделирования процессов в системе УВД?
2. Дайте определение понятия модели процесса.
3. Для чего вводится и что представляет собой вектор состояния процесса УВД?
4. Приведите пример вектора состояния процесса и поясните смысл понятия «пространство состояний».
5. Какие модели процесса называют изоморфными и гомоморфными?
6. Приведите пример гомоморфной модели какого-либо процесса в системе УВД.
7. Какие три вида моделей наиболее часто используют при исследовании систем? Дайте краткую характеристику каждого из них.
8. Какие подходы используются при моделировании воздушного движения?
9. Приведите условие пригодности математической модели и поясните его сущность?
10. Перечислите преимущества, получаемые при использовании математических моделей для исследования процессов в системах УВД.

## 2.2. Метод математического моделирования, моделирующие комплексы и центры исследования процессов УВД

Метод математического моделирования, т. е. применение математических аналогов изучаемых процессов, является одним из наиболее эффективных методов при исследовании системы УВД.

Для моделирования всего множества процессов, образующих задачи исследования процессов в системе УВД, необходимо иметь математические модели динамических процессов движения отдель-

ных летательных аппаратов либо характеристики их потоков в данной зоне, процессов, характеризующих работу их навигационно-пилотажных комплексов, а также модели, учитывающие влияние метеорологических факторов на процессы УВД, характеристики структуры зоны УВД, радиотехнических средств и др. Реализация подобных математических моделей с целью исследования изменения их состояния требует применения самых мощных вычислительных устройств, объединения их в целые моделирующие комплексы.

Например, для составления только программной логики лишь одного центра УВД требуется по оценке специалистов США около 350 тыс. слов, а при учете специфики структуры данной конкретной зоны, т. е. для ввода в ЭВМ ее характеристик, требуется еще приблизительно столько же тысяч слов. Другие процессы требуют не меньших затрат по количеству вводимой информации. Такой ее объем и требуемая скорость обработки, превышающая $1 \cdot 10^6$ операций в секунду, определили выбор средства моделирования в виде самых мощных совершенных универсальных ЭЦВМ либо систем из нескольких ЭЦВМ. При этом одна из значительных трудностей здесь всегда сопряжена с программированием и разработкой средств математического обеспечения, которое составляет до 30% стоимости всей разработки моделирующего комплекса. Так, в соответствии с «Планом развития национальной системы воздушного транспорта» США на 1973—1982 гг. на программу 013 «Моделирование», куда входят лишь текущие затраты, предусмотрено финансирование в 13,500 тыс. долл. [191]. Создание же центров моделирования, таких, как Национальный экспериментальный центр авиационного оборудования (National Aviation Facilities Experimental Centr) в Атлантик-Сити (США) либо научно-исследовательские экспериментальные центры организации «Евроконтроль» в Бретиньи во Франции, в Великобритании (аэропорт Харн), моделирующий центр Авиационной Академии по подготовке специалистов УВД в Швеции в Стурупе и других, требует гораздо больших затрат, исчисляющихся десятками миллионов долларов. Такие затраты считаются целесообразными, так как моделирование процессов УВД, например, в центрах организации «Евроконтроль» позволило найти наилучшие решения целого ряда важнейших вопросов, таких, как оптимизация схем полетов в РА г. Рима, рациональное деление воздушного пространства Швейцарии, организация УВД в верхнем воздушном пространстве Брюссельского районного центра и др.

Научно-исследовательские экспериментальные центры организации «Евроконтроль» также оснащены мощными вычислительными системами, объединяющими ряд ЭЦВМ. Это позволило осуществить имитацию динамической воздушной обстановки в зоне радиусом до 1000 км, что охватывает большую часть воздушного пространства Западной Европы. Такое моделирование позволило проверить целесообразность автоматизации целого ряда отдельных процессов УВД, изучить влияние выхода на трассы существующих

зон УВД сверхзвуковых транспортных самолетов и других вопросов, связанных с оптимальным делением воздушного пространства, созданием эргономически целесообразных средств и систем отображения данных, автоматизацией рутинных процессов при непосредственном УВД, отработкой программ для ЭВМ АС УВД, что позволило увеличить, например, пропускную способность АС УВД центра УВД Маастрихт в 2 раза.

Результативность метода моделирования обусловило сравнительно широкое его распространение. Так возникли и успешно функционируют научно-исследовательские центры и центры по обучению операторов диспетчеров УВД в Швеции, Франции, Люксембурге, Великобритании, США, Австралии и других странах. Созданы такие центры и в СССР в Ленинграде в Академии гражданской авиации, в Москве при научно-экспериментальном центре автоматизации УВД, в Киеве в институте инженеров гражданской авиации и других местах. Совмещение функций научно-исследовательских центров с центрами по обучению вызвано следующими причинами. Каждый из центров использует очень дорогое оборудование, и оснащение каждого из них требует значительных затрат. При этом наибольшую сложность при моделировании представляет описание деятельности операторов, входящих в простейший контур и другие элементы общей структуры системы УВД. Именно поэтому в моделях систем УВД часто функции диспетчеров и пилотов не моделируются, а в контур моделирующего устройства включаются реальные операторы, воспроизводящие деятельность диспетчеров и пилотов.

Построенное таким образом моделирующее устройство может быть использовано для проведения научно-исследовательских работ в том случае, когда за пультами пилотов и диспетчеров находятся опытные обученные операторы, а также для первоначального обучения диспетчеров. Обычно такие моделирующие устройства, работающие в реальном масштабе времени, образуют исследовательские тренажеры и включают ЭВМ, пульты пилотов-операторов, диспетчерские пульты, аппаратуру видеозаписи и воспроизведения, передачи и обработки данных, а также другие вспомогательные устройства.

Исследовательские диспетчерские тренажеры обычно используются при исследовании и решении целой совокупности задач, основными из которых являются: анализ и изучение потоков летательных аппаратов в конкретных зонах УВД; исследование эффективности системы УВД в определенном регионе; определение рациональных структурных характеристик зон УВД; исследование эффективности функционирования отдельных элементов систем УВД (в том числе и внедряемых новых) с целью выявления узких мест и рационального распределения функций между элементами системы; подготовка, переподготовка и совершенствование навыков специалистов УВД; проведение широкого комплекса эргономических исследований; проверка эффективности взаимодействия диспетчеров смежных секторов управления; отработка пооперации-

Таблица 2.1

**Основные характеристики исследовательских диспетчерских тренажеров экспериментальных центров УВД**

| Место установки экспериментального центра | Имитируемая воздушная зона | | Количество РЛС | Внешние условия | Имитируемые зоны | Количество имитируемых целей (ЛА) | Количество типов имитируемых ЛА | Количество пультов диспетчеров | Количество пилотов-операторов | Тип ЭВМ | Средства отображения ИКО | Запись и воспроизведение | Цикл просчета ЭВМ воздушной зоны, с |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | км | м | | | | | | | | | | | |
| Атлантик Сити (США) | — | — | 12 | — | — | 500 (300 управляемых) | 13 | 16 | 64 | ХДС 910 (две) | Синтетический | — | 1 |
| Бретиньи (Франция) | 1000 | Верхняя зона с 500 | 6 | Местники, гроза, ветер, атмосферное давление на 72-х участках | Трассы | 300 (для 2 РЛС и 100 (для 6 РЛС) | 30 | 8 (вертикальных) 3 (горизонтальных) | 20 | Универсальная ТР4 | Синтетический( есть кинопроектор) | Да | 3 |
| Аэропорт Харн (Великобритания) | 1480×1480 | 0÷30480 | 4 | Ветер 370 км/ч в 405 зонах и пяти слоях | Трассы и аэродромные зоны | 90 | 10 | 18 | — | Гермес 1600 | Радиолокационные и телевизионные | Да | 1 |

онной технологии работы диспетчеров различных пунктов и многие другие.

Моделирующие комплексы включают обычно несколько имитационных устройств и исследовательских диспетчерских тренажеров и другую аппаратуру. Это позволяет оперативно переключаться с исследования одной из задач на другую либо вести их параллельно при условии достаточного быстродействия ЭВМ и работе их в режиме разделения времени. Большую роль при функционировании моделирующих комплексов играет не только их оснащение аппаратурой, наиболее полное представление о которой можно получить из сопоставления данных об ЭВМ, используемых в таких центрах, но и математическое обеспечение ЭВМ, т. е. совокупность математических моделей процессов.

Моделирование процессов УВД и создание моделирующих комплексов является одним из центральных направлений при автоматизации процессов УВД. Моделирование, грубо говоря, используется в двух достаточно взаимосвязанных направлениях. Первое включает моделирование отдельных операций, задач и процессов или целых их групп на различных этапах функционирования системы УВД с целью автоматизации. Второе направление связано с моделированием процессов в системе УВД для всестороннего и глубокого их исследования. Такое моделирование осуществляется в моделирующих комплексах. Взаимосвязь обоих направлений проявляется в том, что математические модели процессов включают ряд аналогичных простейших моделей. Такие модели образуются из отдельных задач и операций, которые составляют в совокупности определенный процесс. В соответствии с принципом декомпозиции и модели отдельных процессов системы можно разделить на ряд отдельных элементов — задач и операций. Можно назвать целые совокупности идентичных моделей таких задач и операций, из которых образуются более сложные модели процессов УВД. Так, возникает целое направление исследования систем УВД — метод моделирования [13—17]. При этом необходимо введение ряда допущений и учета взаимосвязи моделей процессов, задач и операций для реализации комплексного подхода к исследованию моделей. Только такой подход позволяет обоснованно говорить о направлении, конкретном месте и способах автоматизации операций, задач и целых процессов системы УВД на различных этапах ее функционирования. Именно таким образом можно распределить функции между человеком и машиной в определенном оправданном уровне автоматизации процессов УВД.

### Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность метода математического моделирования процессов в системе УВД?
2. Приведите обоснования необходимости включения в процесс моделирования современных ЭЦВМ.
3. Какие наиболее существенные результаты удалось получить с помощью моделирующих экспериментально-исследовательских центров США и организации «Евроконтроль»?

4. Поясните причины совмещения в моделирующих экспериментально-исследовательских центрах УВД функций по обучению операторов УВД и исследования процессов УВД.

5. Назовите основные задачи, решаемые с помощью исследовательских диспетчерских тренажеров.

6. Какие два направления можно выделить при моделировании процессов УВД? В чем состоит их взаимосвязь?

## 2.3. Элементарные модели и характерные задачи процессов этапа непосредственного УВД

Основные трудности, возникающие при моделировании процессов УВД, состоят в необходимости решения двух проблем, одна из которых заключается в значительном разнообразии процессов, протекающих в системе УВД в периоды функционирования, а другая — в слабой изученности ряда процессов, таких, как процесс принятия решений и др. Разнообразие физической природы процессов приводит к разнообразию видов математических их моделей. Было бы большой смелостью браться за описание всего пусть и конечного, но значительного количества совокупностей элементарных моделей операций и задач, образующих математические модели процессов в системе УВД. Проблема описания совокупностей связана со значительными трудностями, основная часть которых имеет принципиальный характер и состоит в том, что различные по своему виду математические модели необходимо реализовать с помощью вычислительных устройств единого типа, либо близких друг другу, что требует единообразия моделей.

Кроме того, часть процессов не поддается пока моделированию либо имеет математические модели низкого качества (по показателям адекватности, простоты и т. п.). Потребности практики заставляют интенсивно развивать методы моделирования, изыскивая при этом все новые и новые подходы, учитывающие разносторонность исследования процессов, применяя новые способы описания и новые средства реализации моделей. Некоторые полученные таким образом элементарные модели и результаты их применения оказываются удачными и получают широкое распространение. Если произвести временную разбивку периода функционирования системы УВД на этапы и процессы, то, приводя для каждого из них наиболее распространенные элементарные модели и характерные задачи, можно получить с учетом сделанных выше оговорок достаточно полную картину современного состояния данного вопроса.

Примеры наиболее важных моделей целесообразно рассмотреть, начиная с этапа непосредственного УВД, приведя модели основных задач, решаемых при функционировании простейшего контура, и добавляя к ним в дальнейшем в последующих параграфах модели операций, задач и процессов, протекающих на этапе планирования воздушного движения и обеспечения полетов, а также на этапе организации УВД. Примеры постановки таких

наиболее характерных задач для каждого из этапов и позволили продемонстрировать достаточно полный набор моделей процессов, протекающих в системе УВД.

Структурную схему алгоритма деятельности диспетчера при непосредственном УВД в общих чертах можно рассматривать как грубый вариант иконографической модели структурной взаимосвязи процессов непосредственного УВД.

Общие направления математического моделирования основных процессов непосредственного УВД повторяют в настоящее время общие направления метода моделирования. Действительно, по аналогии с общим случаем при моделировании процессов непосредственного УВД наблюдаются как попытки «целостного» подхода к созданию некоторой общей математической модели диспетчера, осуществляющего непосредственное УВД [18—23, 209—210], так и разработка и применение многочисленных математических моделей отдельных операций, задач и процессов, выполняемых диспетчером на этапе непосредственного УВД [24—29, 212].

Несмотря на то, что попытки построения полной математической модели диспетчера и не привели до сих пор к реализуемым конкретным результатам и даже не позволили приблизиться к созданию единой теоретической концепции и методического формального аппарата, которые дали бы возможность адекватно моделировать деятельность диспетчера, однако применение их для исследования, анализа и оценки влияния тех или иных факторов на эффективность процессов этапов организации УВД, планирования воздушного движения и обеспечения полетов оказывается полезным и перспективным [21, 209]. Наибольшее распространение при этом получили, по-видимому, различного вида структурно-алгоритмические модели деятельности. Один из вариантов такой модели можно представить в виде аналога логической схемы алгоритма (ЛСА) [15]. Его отличие от обычных ЛСА состоит в учете вероятностной природы связей между отдельными операторами алгоритма, в существенном различии отдельных цепей ЛСА, соответствующим определенным ситуациям при УВД, в многовариантности связей между операторами и др. Модель деятельности представляется в данном случае в виде системы взаимосвязанных операторов (элементов), характеризующих выполнение операций, задач либо целых процессов (в зависимости от глубины детализации моделируемого процесса деятельности), обладающих определенными параметрами и физической природой (стохастической или детерминированной, динамической или статической, с запаздыванием, линейной или нет и т. д.) и соединяющихся друг с другом связями, учитывающими вероятностный характер процессов либо условия неопределенности.

Если, например, известна вероятность возникновения той или иной ситуации, существуют некоторые оценки важности каждой из них и известны совокупности и последовательность операций и задач также с оценкой их важности, то модель деятельности образуется математическими моделями каждой из операций, за-

дач и процессов, показателями эффективности их решений, матрицами состояния процесса в каждом из операторов (элементов) в совокупности с матрицей вероятностей перехода из одного состояния в другое.

Некоторым грубым аналогом такой модели для одной ординарной (стандартной) ситуации без учета вероятностных свойств и раскрытия математических моделей отдельных операторов служит структурная схема алгоритма деятельности диспетчера. Одна из типичных задач, характерных для этапа непосредственного УВД и играющих важнейшую роль в любой из ситуаций, возникающих в данной зоне, заключается в моделировании процесса оценки диспетчером динамической воздушной обстановки и прогнозе ее развития. При постановке основной задачи УВД считалось, что параметры, определяющие математическую модель процессов движения летательных аппаратов, известны либо находятся при решении задачи идентификации. Важной задачей, решаемой диспетчером, служит задача оценки и прогноза динамической воздушной обстановки.

Пусть положения летательных аппаратов измеряются с помощью имеющихся в простейшем контуре технических средств (РЛС, пеленгатора) и отображаются на экране. Динамическая воздушная обстановка в этом случае оценивается главным образом по измененным значениям $z_l^{(s)}(t_k)$ параметров, связанных преобразованием координат с компонентами вектора состояния $x_l^{(s)}(t_k)$:

$$z_l^{(s)}(t_k) = \sum_{j=1}^{m} S_{lj}^{(s)} x_j^{(s)}(t_k) + v_l^{(s)}(t_k) \; (l = \overline{1,\ m};\ s = 1,\ \overline{N}). \qquad (2.2)$$

На основании оценок $x_j^{(s)}(t_k)$ и программных значений $y_j^{(s)}(t_k)$ можно найти и значения отклонений $s$-го летательного аппарата по $i$-й координате:

$$q_l^{(s)}(t_k) = f\left[ y_l^{(s)}(t_k) - \sum_{j=1}^{m} h_{ij}^{(s)} z_j^{(s)}(t_k) \right] + n_l^{(s)}(t_k); \qquad (2.3)$$

$$x_l^{(s)}(t_k) = \sum_{j=1}^{m} h_{ij}^{(s)}(t_k)\, z_j^{(s)}(t_k);$$

$$(l = \overline{1,\ n};\ s = \overline{1,\ N}),$$

где $v_l^{(s)}$, $n_l^{(s)}$ — помехи, сопутствующие измерениям и преобразованиям координат — компоненты гауссовых $m_1$ и $n$-мерных (соответственно) случайных процессов с нулевыми математическими ожиданиями и заданными (известными) корреляционными матрицами:

$$M v(t) v'(t) = F(t,\ \tau);\ M n(t) n'(t) = N(t,\ \tau). \qquad (2.4)$$

Коэффициенты матриц преобразования координат $S_{ij}^{(s)}$ и $h_{ij}^{(s)}$ считаются заданными. Закон изменения отклонений $q_i^{(s)}(t_k)$ имеет вид дифференциального уравнения:

$$\left.\begin{aligned} \dot{q}_i^{(s)}(t) &= \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{(s)}(t)\, q_j(t) + \sum_{r=1}^{m} b_{ir}^{(s)}(t)\, u_r^{(s)}(t) + \omega_i^{(s)}(t); \\ q_i^{(s)}(t_0) &= q_{i0}^{(s)};\ u_r^{(s)} \in G_u^{(s)}. \end{aligned}\right| \qquad (2.5)$$

Производя измерения $z^{(s)}(t)$ для каждого $s$-го летательного аппарата в течение отрезка времени $[t_0, t_1]$, следует найти оценку $\tilde{q}^{(s)}(T)$ для векторов $\tilde{q}^{(s)}(T)$, $s=\overline{1, N}$ при значениях $T>t_1$, минимизирующую функционалы, характеризующие точность оценок

$$J_{\Sigma}^{(s)} = [q^{(s)}(T) - \tilde{q}^{(s)}(T)]'\, K\, [q^{(s)}(T) - \tilde{q}^{(s)}(t)]. \qquad (2.6)$$

Поскольку оценки производятся $\tilde{q}^{(s)}(t)$ и для моментов времени $T>t$, то они служат и прогнозом развития динамической воздушной обстановки. Полученные оценки $\tilde{q}^{(s)}(T)$ при $T>t$ позволяют образовать область достижимости $G^{(s)}(T)$. Задачи (2.2) — (2.6) можно отнести к задачам динамической оптимизации при наличии помех в виде известных стохастических процессов. Их решение составляет основной смысл процессов оценки динамической воздушной обстановки и прогноза ее развития. Формулировка такой задачи и алгоритм ее решения представляют собой достаточно полные математические модели указанных процессов с очевидным выходом в автоматизацию с помощью ЭВМ. Полученные в настоящее время результаты позволяют говорить о сравнительно большой результативности применения модели оценки и прогноза в виде решения задачи динамической оптимизации с наличием помех. Эта результативность состоит в том, что получаемые данные по прогнозу развития динамической воздушной обстановки часто превосходят возможности диспетчера, например, по точности и длительности прогноза.

Не следует надеяться и предполагать, что в таком случае становится возможным и дальнейшее построение элементарных моделей отдельных процессов этапа непосредственного УВД, дающих при их реализации более высокие результаты, чем при деятельности оператора.

При стандартной ситуации, когда движение летательных аппаратов близко к программному, возмущающие факторы $\omega_i^{(s)}(t)$ малы и соответствуют принятым моделям, помехи $v_i^{(s)}(t_k)$, $n_i^{(s)}(t_k)$ соответствуют, например, гауссовым случайным процессам, а сбои отсутствуют, то математическая модель (2.2), (2.6) постановки задачи и алгоритма ее решения позволяет получить сравнительно высокие результаты оценки и прогноза динамической воздушной обстановки. Если же возникают значительные откло-

нения от программы воздушного движения, то изменяется вся картина движения и нарушаются условия, принятые для моделей задачи (2.2) — (2.5). В этом случае необходимо найти приемлемое (т. е. обязательно допустимое по регламентирующим условиям) и рациональное (т. е. наилучшее по определенным показателям эффективности) решения в усложненных условиях или в условиях неопределенности. Обычно такие свойства приобретаются оператором в процессе длительных тренировок и работы, поэтому говорят, что решения в таких случаях находятся на основании «опыта и интуиции» и относятся к эвристическим решениям.

Можно ли и здесь говорить о моделировании и автоматизации? В настоящее время возникло и выделилось в самостоятельное целое направление в кибернетике и теории управления, посвященное вопросам создания искусственного интеллекта [26—28, 211]. Одной из важнейших ветвей такого направления является разработка моделей управления и в особенности процессов принятия решений. Важность моделирования таких процессов очевидна, так как наиболее эффективно удается автоматизировать лишь такие процессы, которые поддаются точному описанию с помощью методов математического моделирования. Поскольку при управлении вообще и при управлении воздушным движением обязательными операциями большей части процессов служат такие, как умение получать логические выводы, образовывать более сложные суждения на базе простых, способность к обучению и адаптации, то вопрос об автоматизации процессов на этапе непосредственного УВД не может быть решен без моделирования.

В работах по проблеме искусственного интеллекта и теории управления [14, 15, 27, 28, 208] показано, что большинство процессов, являющихся якобы исключительно привилегией человека и связанных с так называемым интуитивным и творческим поведением, **а также с построением логических выводов**, вынесением сложных суждений, обучением и адаптацией, поддаются точному определению и описанию с целью моделирования. Они могут быть с достаточной степенью точности воспроизведены на ЭВМ. Практически все перечисленные операции рассматриваются обычно (или в большей части случаев) для конкретно оговоренных ситуаций. Поэтому важнейшей операцией почти в каждом из процессов служит операция распознавания ситуации. Действительно, прежде чем выбирать образ поведения и принимать решение о необходимости вмешательства и образе вмешательства, диспетчер УВД должен распознать ситуацию. Для этого определяется ряд четко оговоренных признаков, позволяющих отнести данную ситуацию по виду динамической воздушной обстановки к той или иной ситуации. В соответствии с видами динамической воздушной обстановки, классифицируемыми в отдельные ситуации, могут быть названы усложненные конфликтные и стандартные ситуации. В последнем случае движения летательных аппаратов близки к программному, метеоусловия стандартны и не возникают особые

случаи в полете. Если же происходят нарушение плана полета, задержки, входят в зону УВД летательные аппараты со значительными отклонениями от плана полета и т. д., что приводит к перегрузке диспетчера, либо значительно изменяются параметры метеоусловий, то речь идет об усложненных ситуациях. Когда же имеются предпосылки к нарушению норм эшелонирования летательных аппаратов, либо случаи попадания их в запрещенные для полета зоны, опасные метеоусловия, возникают отказы авиационной техники и другие особые случаи в полете, такие ситуации называют конфликтными либо ситуациями с особыми случаями в полете.

Для каждой из названных ситуаций (а число их может быть увеличено при детализации любой из них по какому-нибудь признаку) существует определенное конечное число признаков, выбор которых производится обычно на основе документов, регламентирующих полеты и практики УВД. Эти признаки практически всегда сопоставляются с определенной количественной мерой. Например, при эшелонировании в качестве меры берутся расстояния между центрами масс летательных аппаратов по осям заданной системы координат, при оценке метеоусловий — дальность видимости, характеристики облачности и т. д. Каждую из ситуаций можно расчленить еще на целый ряд отличных друг от друга подситуаций, операций, задачи и процессы непосредственного УВД в которых различаются. Так, если ввести количественные меры, различающие степень сближения летательных аппаратов, либо попадание их в зоны опасных метеорологических явлений, то каждая из названных ситуаций еще разделяется на ряд подситуаций, для каждой из которых вполне однозначно определяется значение признаков [33].

Таким образом, возникает количественный аналог области распространения каждого признака, характерный лишь для данной ситуации. Например, если число признаков $n$, а количественная мера для каждого из них — $x_i$ $(i=\overline{1, n})$, то можно найти такие значения $x_i$, которые характерны только для данной ситуации. Объединив их в области $G_{xi}^{(s)}$, где $s$ — номер ситуации, можно ставить задачу распознавания следующим образом. Измеряя (определяя) значения $x_i$, характерные для данной ситуации, необходимо отнести ее к тому или иному виду, сопоставляя значения $x_i$ и геометрические характеристики областей $G_{xi}^{(s)}$. Эта задача эквивалентна задаче построения гиперповерхностей, в простейшем случае — гиперплоскостей, разделяющих области $G_{xi}^{(s)}$. Определив, по какую сторону такой гиперплоскости $\Gamma_i^{(s)}$ находится $x_i$, решаем тем самым, к какому типу относится данная ситуация. Как видно, модель основной задачи процесса распознавания можно представить в виде построения разделяющих гиперповерхностей. В настоящее время разработано и реализовано на ЭВМ значительное число алгоритмов, позволяющих решать подобные задачи распознавания [28, 211].

Автоматизация процессов на этапе непосредственного УВД должна бы обязательно включать такие алгоритмы, однако из-за ряда жестких требований к быстродействию и надежности выполнение их на ЭВМ более сложно, чем для оператора. Для того чтобы сопоставить значение признака $x_i$, которое часто само выступает в качестве векторной величины с компонентами $x_{ij}$: $x_i = (x_{i1}, \ldots, x_{ik})$, необходимо найти и извлечь из памяти ЭВМ соответствующие значения геометрических областей $G_{xl}^{(s)}$. **Поиск информации** в ЭВМ требует времени. Учитывая быстротечность процессов движения летательных аппаратов и невозможность их приостановки, можно оценить значение таких качеств, как быстродействие алгоритма. Математическое обеспечение АС УВД допускает к включению не всякий алгоритм, а лишь пригодный по показателям надежности, быстродействия и др. (объем памяти и т. д.). Оказывается, что и некоторые операции и задачи процесса поиска информации также могут быть записаны с помощью математических моделей. Например, задача поиска информации, объекта, признака или другие проявления могут быть записаны в виде следующей модели.

Пусть объект летательный аппарат находится на одном из $N$ уровней памяти с заданной вероятностью $P_1, \ldots, P_N$. Затраты единиц времени на поиск объекта на $i$-м уровне памяти (оперативная память, магнитные барабаны, ленты и т. д.) равны $x_i$. Вероятность обнаружения объекта на $i$-м уровне равна $1 - e^{-b_i x_i}$, где $b_i$ — степень простоты поиска на $i$-м уровне поиска. Тогда общая задача оптимального поиска формулируется следующим образом:

распределить временные затраты так, чтобы

$$J_{\Sigma}^{(1)} = \sum_{i=1}^{n} P_i (1 - e^{b_i x_i}) \to \max \tag{2.7}$$

при условии, что

$$\sum_{i=1}^{N} x_i = T; \; x_i \geqslant 0. \tag{2.8}$$

Решение подобных задач позволяет наилучшим образом распределить заданное время поиска $T$, для того чтобы получить наибольшую вероятность обнаружения объекта. Интересной и не менее важной является и двойственная данной задача:

найти такие $x_i$, при которых

$$J_{\Sigma}^{(2)} = \sum_{i=1}^{N} x_i \to \min \tag{2.9}$$

при условии, что

$$\sum_{i=1}^{n} P_i (1 - e^{b_i x_i}) = P_0; \; x_i \geqslant 0. \tag{2.10}$$

Решение этих задач дает возможность получить заданную вероятность обнаружения объекта за наименьшее суммарное время поиска. Постановки задач (2.7), (2.8) и (2.9), (2.10) образуют математические модели известной проблемы распределения ресурсов [15, 34, 35], в качестве которых здесь выступает время поиска. Существуют и другие постановки задач рационального поиска и обнаружения. Часто на практике поиск осуществляется путем простого перебора вариантов опроса датчиков или носителей информации. Если внести в такой простейший способ правило приоритетного опроса в соответствии с заданной важностью или априорной с вероятностью обнаружения, то тогда затраты на поиск существенно сокращаются [34].

Больший эффект достигается при решении оптимизационных задач поиска и обнаружения.

Приведенные рассуждения и постановки задач позволили записать математические модели или приближенные наметки к ним для задач распознавания ситуаций, поиска и обнаружения объектов.

Приведенные элементарные математические модели процессов оценки динамической воздушной обстановки, прогноза ее развития, поиска и обнаружения информации и обоснования для принятия решений не охватывают полностью всего перечня моделей операций, задач и процессов, возникающих на этапе непосредственного УВД. Так, моделирование процессов разработки нового оперативного (текущего) плана полетов, как и процесса выработки содержания и времени выдачи команд по коррекции динамической воздушной обстановки, приводит к виду моделей, характерному для процессов планирования и оптимального управления динамическими процессами.

Перечень только основных элементарных математических моделей процессов на этапе непосредственного УВД включает стохастические и детерминированные соотношения, которые, в свою очередь, могут носить как динамический, так и статический характер и быть линейными или нелинейными. Кроме того, условия неопределенности и учет помех и возмущений также требуют особого вида математических моделей.

### Контрольные вопросы

1. В чем состоят главные трудности моделирования процессов УВД?
2. Дайте характеристики основных двух направлений моделирования деятельности диспетчера.
3. Приведите формулировку задачи оценки динамической воздушной обстановки и прогноза ее развития.
4. Что можно утверждать относительно качественного сравнения действий диспетчера и автоматического устройства при решении задач оценки и прогноза?
5. В чем заключается основной смысл задачи распознавания? Какие ситуации при УВД можно выделить и с помощью каких количественных характеристик возможно их распознавание?
6. Выпишите математические модели задачи поиска информации.

## 2.4. Элементарные модели и характерные задачи процессов на этапах планирования воздушного движения и организации УВД

Учитывая разнообразие видов планирования воздушного движения, в качестве примеров элементарных моделей и характерных задач целесообразно выбрать моделирование ряда операций алгоритма предварительного суточного планирования (см. рис. 1.9). Моделирование задачи разработки проекта суточного плана полетов в РА может служить одной из наиболее типичных математических моделей.

Пусть заявки на полеты формируются в виде предпочтительного ряда чисел — времен прохождения (вылета, пролета) летательным аппаратом $s$-го рейса контрольной точки (ВПП, пункт обязательных донесений, РНТ коридора и т. д.) $z_k^{(s)}$. Регулярность полетов и экономичность их выполнения определяется близостью реального времени $y_k^{(s)}$ прохождения $k$-й точки каждым $s$-м летательным аппаратом. Показатель эффективности проекта суточного плана:

$$J_{\Sigma}^{(1)} = \sum_{s=1}^{N} \omega^{(s)} \mid z_k^{(s)} - y_k^{(s)} \mid \quad (k = \overline{1, R}), \tag{2.11}$$

где $\omega^{(s)}$ — коэффициент веса, учитывающий важность $s$-го рейса; $s = \overline{1, N}$.

Условия безопасности задаются интервалами:

$$\left.\begin{aligned} y_k^{(s+1)} - y_k^{(s)} &\geqslant \tau_k; \\ y_k^{(s)} &\geqslant 0. \end{aligned}\right\} \tag{2.12}$$

Иногда регламентируются интервалы (диапазоны) отклонений планируемого времени $y_k^{(s)}$, т. е. задаются пределы возможного времени выполнения $s$-го рейса в $k$-й точке:

$$\underline{a}_k^{(s)} \leqslant y_k^{(s)} \leqslant \overline{a}_k^{(s)}. \tag{2.13}$$

Построенный при решении задачи (2.11), (2.13) проект суточного плана обладает несколькими достоинствами, к которым относятся бесконфликтность и получение наилучшего значения показателя (2.11) среди допустимого множества бесконфликтных планов. Математическая модель задачи (2.11), (2.13) представляет собой статическую линейную модель в виде специальной задачи линейного программирования.

Проекты суточных планов для совокупности РА в данной зоне УВД [31] должны быть скоординированы. Один из возможных вариантов математической модели такой задачи координации может быть получен, если задать совокупность из $R$ контрольных точек $k(k = \overline{1, R})$, например, пересечения маршрутов на одном эшелоне либо схождения трасс, по отношению к которым необходима коор-

динация проектов планов полета. Под координацией здесь следует понимать не только выполнение условий (2.12) безопасности полета каждой $k$-й точки всеми летательными аппаратами по согласуемым проектам планов полета, но и условий, учитывающих пропускные способности элементов системы УВД в данной точке. Принимая во внимание наличие достаточно тесной взаимосвязи между запланированной и фактической интенсивностью полетов, такое условие записывается в виде неравенств:

$$\lambda_k(\tau_i,\ Y_j) \leqslant \mu_k(\tau_i), \tag{2.14}$$

где $\lambda_k(\tau_i,\ Y_j)$ — интенсивность полетов в районе $k$-й точки на $\tau_i$ ($i=\overline{1, m}$) интервале времени в соответствии с проектами планов полета $Y_j=(y_j^{(1)},\ldots,\ y_j^{(N)})$; $\mu_k(\tau_i)$ — пропускная способность зоны УВД в $k$-й точке на интервале $\tau_i$.

Задача координации проектов суточных планов в таком случае может быть сформулирована следующим образом: найти такие планы полета $Y_j=(y_j^{(1)},\ldots,\ y_j^{(N)})$, при которых выполняются условия (2.12), (2.13), (2.14) для всех точек $k=\overline{1, R}$ и рейсов $s=\overline{1, N}$ на каждом из интервалов времени $i=\overline{1, m}$, и показатель эффективности принимает наименьшее значение

$$J_{\Sigma}^{(2)}=\sum_{k=1}^{R}\sum_{s=1}^{N}\omega_k^{(s)}\,|\,z_k^{(s)}-y_k^{(s)}\,|+\sum_{k=1}^{R}\sum_{i=1}^{m}\omega_{ki}\,|\,\lambda_k(\tau_i Y_j)-\lambda_{k-1}(\tau_i Y_j)\,|\to\min. \tag{2.15}$$

Решение данной задачи позволяет найти взаимоувязанные бесконфликтные планы полетов, обеспечивающие оптимизацию по критериям регулярности, экономичности и равномерности нагрузки на зоны УВД в каждом из интервалов времени. Математическая модель задачи (2.12) — (2.15) также является статической линейной моделью задачи линейного программирования транспортного типа с суммой модулей.

К аналогичным моделям может быть приведена и задача оперативного текущего планирования, так как математическая модель и физическая сущность этого процесса близка моделям и сути процессов предварительного планирования. Поэтому целесообразно рассматривать их совместно.

Действительно, пусть предварительный план полетов известен и задан в виде матрицы $Y=\{y_k^{(s)}\}$. Считается, что план $Y$ — наилучший (оптимальный) или во всяком случае регулярность полетов определяется именно по отношению к $Y$. Тогда наилучшим оперативным планом будет план, наименее отклоняющийся от предварительного. Поиск такого оперативного плана осуществляется при решении следующей задачи.

Найти матрицу $Q=\{q_k^{(s)}\}$ такую, что

$$J_{\Sigma}^{(3)}=\sum_{k=1}^{R}\sum_{s=1}^{N}\omega_k\,|\,y_k^{(s)}-q_k^{(s)}\,|\to\min \tag{2.16}$$

и выполняются условия безопасности полетов:

$$\left.\begin{array}{l} |\, q_k^{(s)} - q_k^{(s\pm 1)} \,| \geqslant \tau_k; \\ q_k^{(s)} \geqslant 0; \\ (k=\overline{1,\ R};\ s=\overline{2,\ N}). \end{array}\right\} \tag{2.17}$$

Поскольку числа $R$ и $N$, как правило, не превышают десятков единиц (при сравнительно малых зонах УВД — в виде, например, РДС), то в задаче (2.16), (2.17), как и в задачах (2.11), (2.13), (2.12) — (2.15), можно перейти от двойных к одиночным индексам ($j=\overline{1,\ r}$; $r=R\cdot N$). Аналогично можно избавиться и от переменных вида $\lambda_k$, обозначив их через новые неизвестные $q_{r+i}=\lambda_i$ для задачи (2.12) — (2.15). Кроме того, известно, что минимизация суммы модулей вида (2.11), (2.15), (2.16), представляющих собой одну из разновидностей задач кусочно-линейного программирования, может быть сведена путем ввода дополнительных искусственных переменных к задаче линейного программирования [41]:

$$J_\Sigma = \sum_{j=1}^{r} \bar{\omega}_j (u_j + v_j) \to \min; \tag{2.18}$$

$$\left.\begin{array}{l} \tilde{q}_j + u_j - v_j = \tilde{y}_j;\ q_j - q_{j\pm 1} \geqslant \tau;\ \\ q_{j\pm 1} - q_j \geqslant \tau;\ y_i,\ \tilde{q}_j,\ v_j,\ u_j \geqslant 0, \end{array}\right\} \tag{2.19}$$

где $u_j$, $v_j$ — искусственные переменные.

Эта задача охватывает практически все прежние постановки и при наличии вариаций переменных, что очень важно при согласовании и координации планов, а также оперативном планировании, относится к типичной параметрической задаче линейного программирования [42]. Для этапа планирования воздушного движения, как и для всякого этапа функционирования системы УВД, характерными являются процессы принятия решения. Здесь также оказываются полезными математические модели, построенные с помощью алгебры логики и с последующими преобразованиями к линейным статическим моделям либо без них. Кроме того, при исследовании процессов планирования в больших зонах УВД, включающих несколько РДС либо управлений гражданской авиации, такие математические модели задач предварительного планирования и координации планов, как (2.12) — (2.15), становятся чрезмерно громоздкими и сложными. В этих случаях целесообразно процесс предварительного планирования в соответствии с принятым здесь принципом декомпозиции разделить на две задачи, первая из которых позволяет планировать распределение потоков летательных аппаратов по зонам УВД во времени, тогда как вторая дает уже распределение конкретных рейсов по потокам и расчет предварительных планов полета. При решении первой задачи планирования потоков динамика изменения их параметров описывается дифференциальными стохастическими уравнениями. Поэтому и в случае планирования полетов полный перечень эле-

ментарных математических моделей процессов включает практически все виды моделей, указанных выше для этапа непосредственного УВД. Однако если в случае непосредственного УВД наиболее характерными являются математические модели вида динамических процессов принятия решения, то в случае планирования воздушного движения — линейных статических процессов.

К аналогичным выводам о перечне видов элементарных математических моделей можно прийти и для этапа организации УВД. Действительно, только примеры широко известных постановок задач организации УВД включают динамические процессы траекторных расчетов, моделирующие установление трасс полетов в РДС, схем и коридоров в РА, модели принятия решений по реорганизации, модели обучения, статические нелинейные модели деления воздушного пространства на зоны УВД и др. [1, 3, 16, 28, 37—39]. Для этапа организации УВД можно указать наиболее характерные процессы, задачи и операции. К ним относится, например, определение рациональной структуры подсистемы и минимально необходимого состава и количества технических средств.

Рассмотрим один из возможных подходов к построению математической модели задач, связанных с определением состава и количества обзорных радиолокационных станций (ОРЛС). Речь идет о математическом моделировании задачи, относящейся к проблеме рационального выбора типов и количественного состава ОРЛС и определения мест их установки [40].

Решение данной проблемы относится к сложным многосвязным задачам больших систем [41, 42, 213] и сводится к исследованию одной из двух основных задач. Первая связана с выбором типов и количественного состава ОРЛС, осуществляющих непрерывный радиолокационный контроль всего воздушного пространства в заданных границах рассматриваемой зоны УВД ($R$-задача). Другая задача ($Z$-задача) дает решение, обеспечивающее контроль объемов воздушного пространства, соответствующих определенным точкам (дискретный контроль), например сети трасс, пересечению, схождению либо группе параллельных трасс и т. д. Обе задачи базируются на построении математических моделей — геометрических образцов пространства, необходимого для радиолокационного контроля областей, запрещенных либо предпочтительных для установки ОРЛС, пространства, контролируемого одной ОРЛС определенного типа и т. д. При наличии комплексных моделей обеспечения воздушного пространства непрерывным либо дискретным радиолокационным контролем задачи определения мест установки, типажа и количества ОРЛС решаются как задачи математического программирования о размещении наименьшего числа геометрических образов в заданных границах [43—50].

Реализация рационального организационного решения об определении количественного состава и мест размещения ОРЛС возможна лишь при автоматизации с помощью применения программы исследований на ЭВМ, включающей целый ряд отдельных операций и последующую их взаимосвязь. При этом сначала про-

водится анализ характеристик воздушного движения в рассматриваемой зоне УВД (интенсивность, тип самолетов, плотность по эшелонам и т. д.) с целью выделения областей с однородными требованиями к радиолокационному контролю. Затем определяются границы областей воздушного пространства с однородными требованиями и проводится математическое их описание в определенной (например, статической линейной) форме. Далее для каждого типа выделенных областей определяются группы типов ОРЛС и средние затраты на приобретение, установку и эксплуатацию. Для каждой из рассматриваемых зон УВД проводится анализ качества существующей организации в смысле соответствия имеющихся типов ОРЛС тем, которые необходимы, и принимается решение о необходимости реорганизации, выделяются ОРЛС с неизменяемыми (закрепленными) местами установки и проводится математическое описание границ их зон обзора. Если принято решение об отсутствии надобности в реорганизации, то исследование на этом считается законченным. В противном случае в каждой из рассматриваемых зон определяются запрещенные и предпочтительные области установки ОРЛС и проводится математическое их описание с помощью задания уравнений или неравенств для границ подобных областей. Для каждого типа ОРЛС определяются параметры области обзора и проводится их математическое описание (например, в линеаризованной форме). Формулируется задача рационального размещения ОРЛС. Ее решение позволяет оценить так называемое «нулевое» приближение в виде построения начального полного либо дискретного покрытия рассматриваемой зоны УВД радиолокационным контролем с учетом запрещенных и предпочтительных областей и определения тем самым количества ОРЛС $n_j$ каждого $j$-го типа, использованных для обеспечения начального покрытия.

Нулевое приближение и имеющиеся модели используются для формирования задачи рационального размещения ОРЛС с целью минимизации суммарных затрат в виде, например, задачи частично-целочисленного линейного программирования или дискретной задачи линейного программирования с булевыми переменными. Полученное при этом решение может быть использовано далее для ряда логических операций, связанных с определением окончательного набора типов ОРЛС при учете планирования возможных поставок и закупок и т. д. Завершающим этапом является анализ качества общего решения и оценка снижения технико-экономической эффективности из-за неполноты описания моделей задач размещения, возникающей вследствие искажения характеристик радиолокационного поля, рельефа местности, вариабельности затрат на изыскательские работы и прокладки сетей коммуникаций и др. Результаты анализа учитываются в последующих приближениях с помощью корректировки математических моделей задач размещения путем совершенствования моделей границ областей покрытий, запрещенных и предпочтительных для установки ОРЛС, уточнения суммарных приведенных затрат для каждого типа.

Качество получаемых решений определяется в основном качеством решения задачи рационального размещения, которое является прямой функцией сложности и точности комплексной математической модели задачи, включающей модели границ областей непроходимого контроля, областей, обеспечиваемых контролем ОРЛС каждого типа, запрещенных и предпочтительных областей установки. Сложность модели при этом определяется прежде всего наличием разработанных и апробированных математических и алгоритмических методов ее использования для точной формулировки задачи и получения необходимых результатов. Так, в случае задачи размещения ОРЛС использование модели в форме, определяемой исходными данными, приводит к необходимости рассмотрения задачи нелинейного программирования с наличием ряда логических условий, формализующих требования полного либо дискретного покрытия.

Снижение сложности формализации возможно различными путями, среди которых выделяется завершенностью методов и алгоритмов дальнейшего решения путь, связанный с линеаризацией исходных условий. Это приводит к известному снижению точности получаемых оценок. Возможное повышение точности в линеаризованной постановке задачи за счет повышения размерности условий задачи также ограничено величинами, определяющими вычислительные возможности ЭВМ (объем памяти, быстродействие и т. д.). Повышение размерности задачи характерно и при переходе от $R$-задачи непрерывного радиолокационного контроля всего воздушного пространства в границах рассматриваемой зоны УВД к $Z$-задаче, решение которой связывается с обеспечением контроля объемов воздушного пространства в дискретных точках, соответствующих сети трасс в границах рассматриваемой зоны УВД. Поэтому специфика построения математических моделей обеих задач заставляет проводить раздельное их исследование, анализируя их возможные методы и алгоритмы решения.

Специфические особенности $Z$-задачи, состоящие в необходимости выделения наиболее характерных дискретных точек радиолокационного контроля, позволяет использовать для построения математической ее модели методологию теории графов и формализовать ее в виде задачи линейного программирования с булевыми переменными [43—47]. Особенности $R$-задачи приводят к необходимости исследования решения задач частично-целочисленного линейного програмирования с булевыми переменными. Так как методы решения названных задач математического программирования известны [41, 42, 213], то наибольший интерес для алгоритмизации процессов организации УВД представляют вопросы построения и упрощения математических моделей $R$- и $Z$-задач.

Реализация рационального организационного решения об определении количества и мест установки ОРЛС по описанной методике предполагает диалоговую работу исследователя с ЭЦВМ. Роль исследователя как творческого начала, принимающего решение и существенно влияющего на ход вычислений путем изме-

нения коэффициентов веса и других параметров, остается здесь основной. Так осуществляется работа автоматизированных систем в режиме диалога исследователя с ЭВМ.

Из приведенных рассуждений следует, что к имевшемуся ранее полному перечню элементарных математических моделей процессов УВД для всех этапов на этапе организации УВД можно добавить лишь не формализуемый пока случай диалоговой модели работы исследователя с ЭЦВМ при реализации рационального организационного решения об определении количества и мест размещения ОРЛС. Другие модели, наиболее характерные для процессов этапа организации УВД, относятся к моделям статических линейных и нелинейных процессов, процессам логического характера, а также детерминированным и стохастическим вариантам оптимизации динамических процессов и процессов в условиях неопределенности.

**Контрольные вопросы**

1. Приведите формулировку задачи предварительного суточного планирования. Какие дополнения следует внести в математическую модель задачи для учета возможных опасных сближений при планировании взлета более скоростного воздушного судна за менее скоростным?
2. Дайте характеристику задач координации проектов планов полета и текущего планирования.
3. В чем состоит смысл использования принципа декомпозиции на этапе планирования полетов?
4. Приведите общий перечень элементарных математических моделей, характерных для этапов непосредственного УВД, планирования полетов и организации УВД.
5. Опишите методику исследования рационального организационного решения по определению количественного состава и мест размещения ОРЛС.

## 2.5. О некоторых методах построения математических моделей процессов УВД

Приведенные примеры элементарных математических моделей процессов на различных этапах функционирования системы УВД получены при постановках наиболее характерных задач. При этом в условия задачи, т. е. в совокупность выражений, образующих математические модели задач, часто входят выражения, параметры которых (коэффициенты при неизвестных, правые части, граничные условия и др.) не определены. В целом ряде случаев оказывается полезным и возможным вместо системы уравнений, описывающих процесс достаточно точно (при известных параметрах и начальных условиях), использовать при отсутствии сведений о параметрах искусственно созданную систему более простых уравнений, эквивалентную в заданном смысле первой, но более простую и доступную при реализации вычислений [51]. Иногда неизвестными являются не только параметры и граничные условия, но и сам вид зависимостей, характеризующих изменения процесса. Во всех этих случаях речь идет о методах построения математических моделей процессов УВД.

К таким наиболее известным методам можно отнести в случае поиска математических моделей в виде зависимостей описывающих характеристики непрерывных транспортных потоков метод теории массового обслуживания и теории очередей. При поиске математических моделей дискретных объектов управления вводится вектор состояния процесса и в качестве методов их построения на основе измерения действительного значения компонент вектора состояния используют методы планирования экспериментов и методы идентификации параметров процесса, если вид характеризующих его зависимостей известен. При этом считаем, что методы экспериментальных исследований, обработки данных эксперимента, теории приближения функций и другие, часто применяемые при моделировании процессов, известны и здесь не излагаются.

Рассмотрим более подробно некоторые варианты перечисленных методов построения математических моделей процессов УВД. Сначала целесообразно рассмотреть роль теории массового обслуживания в моделировании процессов управления воздушным движением.

На различных этапах функционирования системы УВД иногда возникает необходимость определения приближенных количественных характеристик процессов УВД, рассматриваемых как процессы задержек в потоках. К числу таких процессов можно отнести образования очередей в зонах ожидания РА, когда интенсивность потока прибывающих летательных аппаратов превышает интенсивность их посадки, перегрузку линий связи между диспетчерскими пунктами, ожидание в получении необходимой информации по каналам РПУ и многие другие. Для таких процессов характерно наличие объектов, нуждающихся в обслуживании, и задержек (очередей) в тех случаях, когда обслуживающее устройство занято (перегружено). Построение математических моделей для характеристик этих процессов связывают часто с методологией теории массового обслуживания [52]. Действительно, основная цель теории массового обслуживания, состоящая в разработке методов для отыскания основных количественных характеристик процессов массового обслуживания для оценки качества функционирования обслуживающей системы, близка целям моделирования системы УВД. Может быть, именно поэтому, терминология, принятая в теории массового обслуживания, получила распространение и в языке теории УВД. Однако широко распространившиеся термины и понятия теории массового обслуживания зачастую лишь создают видимость значительных перспектив в получении результатов, которые на самом деле приходится «добывать» уже иными путями, используя теорию идентификации и математического программирования либо используя громоздкое моделирование процессов на больших ЭЦВМ [53]. Такое явление характерно, по-видимому, для любых случаев и попыток использования какой-либо одной методологии моделирования применительно к целой совокупности процессов, природа которых не адекватна.

Задача теории массового обслуживания состоит в отыскании зависимостей характеристик обслуживающих систем от характеристик входящего потока требований, параметров обслуживаемого устройства и способов организации всей системы обслуживания. Наиболее часто эти характеристики носят вероятностный характер, что и определяет основные трудности в их отыскании. Наиболее часто практическое применение теории массового обслуживания связано с решением двух типов задач. К первому из них относятся задачи проектирования и организации систем обслуживания, включающих большое число одинаковых элементов. Применительно к системе УВД это задача определения количества линий связи между ЭВМ, АСУВД, РЛС, диспетчерскими пунктами и другими элементами простейшего контура. К характерным свойствам задач первого типа следует отнести случайность потока требований и продолжительность обслуживания.

Ко второму типу можно отнести задачи моделирования такой общей характеристики элемента системы, как пропускная способность. Основным вопросом в задачах второго типа считается обычно определение последовательности обслуживания.

Наличие значительного разнообразия задач и моделей массового обслуживания приводит к необходимости их классификации, которая производится обычно в зависимости от характера таких элементов системы обслуживания, как входящий поток требований, дисциплина обслуживания, механизм (способ) обслуживания, наличие ограничений и др. Практически в большом числе случаев теоретические классифицированные модели массового обслуживания не могут быть непосредственно использованы для синтеза и анализа математических моделей реальных систем. На практике задачи моделирования систем обслуживания включают, как правило, построение зависимостей закона распределения и средних значений различных процессов в системе, имеющих случайный характер, таких, как: длина очереди, время обслуживания, время занятости обслуживаемых устройств и др. При этом для построения таких зависимостей обычно применяются два основных классических метода — аналитические исследования и моделирование на ЭЦВМ. Аналитические исследования применимы лишь в простейших случаях систем при введении значительного числа упрощающих допущений.

Наиболее распространенным типом элементов системы УВД, для описания и исследования которых применяется теория массового обслуживания, в аналитическом виде служат элементы, в которых происходит образование очередей с однородными требованиями или требованиями с приоритетом при наличии ограничений на время ожидания требований либо на время пребывания их в элементах. Одним из наиболее распространенных и самых универсальных методов математического описания характеристик потоков в таких элементах служат марковские процессы. В этом случае количественные характеристики потока образуют марковский вектор состояния и определяются с помощью либо стохасти-

ческой матрицы вероятностей перехода, либо некоторой системы уравнений (дифференциальных, интегральных, разностных и т. д.). Если же число характеристик велико, а исследуемая часть системы достаточно сложна, то марковский вектор состояния процесса имеет большую размерность. В этом случае применение аппарата марковских процессов в аналитическом виде (в частности, методов операционного исчисления, таких, как интегральные преобразования, и метода производящих функций) становится затруднительным. Это существенно снижает практическую ценность получаемых моделей.

Моделирование на ЭЦВМ использует более полные данные об элементах системы и состоит в разработке программы, с помощью которой на ЭЦВМ последовательно повторяются основные действия реальной системы, подсчитываются основные характеристики процесса обслуживания. Для полного исследования достаточно сложной системы при таком методе потребуются большие затраты машинного времени, так как получение устойчивых статистических характеристик исследуемых процессов системы связано с необходимостью проведения экспериментов, число которых достигает десятков тысяч. Наиболее часто при этом используются методы статистических испытаний или методы статистического моделирования Монте-Карло [54].

В большинстве задач теории очередей и массового обслуживания определяют распределение вероятностей таких характеристик, как время обслуживания, время ожидания, длина очереди и др. Здесь должны использоваться математические модели, связывающие параметры структуры исследуемой части системы с указанными вероятностными характеристиками. Такие математические модели очень важны для дальнейшего исследования системы с целью ее оптимизации. Например, по такой характеристике, как пропускная способность, ищут такие параметры системы в виде ее структуры и процесса обслуживания, чтобы пропускная способность была наибольшей. В общей теории массового обслуживания решено значительное число задач, использование которых для моделирования процессов УВД может оказаться полезным. Так, для широкого класса условий исследована задача об оптимизации режима обслуживания в схеме с приоритетом, когда имеется несколько видов требований, каждый из которых дает свое определенное среднее время обслуживания и определенные затраты в виде взвешенных единиц времени ожидания и др. [55].

Соотношения моделей процессов в системе УВД, использующих методы теории массового обслуживания, с моделями процессов статистического, динамического типа либо логических процессов принятия решения, описанных ранее, аналогичны, по-видимому, соотношениям непрерывных вероятностных и детерминированных процессов. Отсюда становятся ясным границы области применимости каждого из видов моделей. Модели процессов массового обслуживания носят вероятностный характер. Основой их применения для получения количественных характеристик служит

наличие массовых однородных случайных явлений, в противном случае нельзя говорить о статистической устойчивости получаемых оценок. В практике УВД такие явления хотя и имеют место, но происходят, как правило, под влиянием целого ряда факторов, искажающих однородность. К ним относятся сезонные влияния, «личностные» факторы, связанные с эргатическими элементами в простейшем контуре системы, смена технических устройств и др. Неучет подобных влияний приводит к получению грубых результатов. Так, например, попытка механического переноса выводов теории массового обслуживания на некоторые задачи организации УВД в данной зоне без учета психофизиологических факторов, характеризующих деятельность диспетчера и пилота, дают искаженные оценки. Поэтому здесь необходим комплексный подход к созданию моделей процессов в системе УВД, когда модели процессов, полученные с помощью теории массового обслуживания либо другими методами, дополняются так, чтобы учитывались все важнейшие факторы, влияющие на характеристики процессов.

В тех случаях, когда неизвестны соотношения, описывающие изменения вектора состояния процесса, т. е. не задана их структура и неизвестны параметры, но может быть получено значительное количество экспериментальных данных о каких-либо характеристиках процесса для построения математической его модели, с успехом могут быть использованы такие статистические методы, как планирование эксперимента и идентификация процессов [56, 57].

Одной из основных целей теории планирования экспериментов является отыскание математической модели процесса. Для этого необходимо найти такое расположение точек измерения характеристик процесса в пространстве измеряемых факторов, при котором можно получить наилучшее в заданном смысле приближение модели к процессу. Пусть, например, рассматривается следующая совокупность параметров (см. рис. 2.1):

входные параметры, значениями которых можно распорядиться в определенной области их задания:

$$U=(u_1,\ldots,\ u_m)';\ U\in G_u \text{ или } u_i^{\min}\leqslant u_i\leqslant u_i^{\max};\ \ i=\overline{1,\ m};\quad (2.20)$$

выходные параметры процесса $X=(x_1,\ldots,\ x_n)'$;
совокупность известных (контролируемых), но не поддающихся управлению параметров $a=(a_1,\ldots,\ a_r)'$;
случайные возмущающие воздействия, временные характеристики, точки приложения и интенсивность действия которых носят случайный характер, $\omega=(\omega_1,\ldots,\ \omega_n)'$.

Задача планирования эксперимента с целью построения математической модели состоит в установлении зависимости между параметрами

$$X(t)=F[U(t)a,\ B,\ \omega(t)],$$

где $B=(b_1,\ b_2,\ldots,\ b_k)'$ — искомые параметры.

При этом можно использовать имеющиеся данные измерений $X(t)$, полученные при «пассивном» наблюдении процесса без пред-

намеренного изменения $U(t)$, либо наблюдать $X(t)$ при определенной программе изменения $U(t)$. В первом случае речь идет об использовании пассивного эксперимента, во втором — активного. При использовании активного эксперимента неуправляемые параметры $a$ и возмущения $\omega$ представляются в виде эквивалентного аддитивного шума $\zeta(t)$:

$$X(t)=F[U(t),\ B]+\zeta(t), \tag{2.21}$$

где $B$ — неизвестные (искомые) параметры модели.

Обычно встречаются следующие варианты задачи построения математической модели процесса по измерениям вектора $X(t)$ и известной программе измерения $U(t)$.

1. Вид (структура) зависимости $F[U(t), B]$ известен. Необходимо найти наилучшие в заданном смысле (точности по выходу, например) значения параметров $B=(b_1, b_2, \ldots, b_k)$.

2. Вид зависимости $F[U(t), B]$ эквивалентен одному из набора $\varphi_j[U(t)B_j]=\overline{1, \nu}$. Необходимо определить, какому именно виду следует структура математической модели и найти наилучшие значения параметров.

3. Вид зависимости $F[U(t), B]$ не задан. В этом случае на основании учета физической природы процесса, опыта и интуиции исследователь выдвигает ряд гипотез о виде зависимостей $F[U(t), B]$. После этого проводится анализ и сравнение результатов их применения. Последовательное использование такой процедуры позволяет построить адекватную модель процесса.

Рассмотрим наиболее простой, но тем не менее часто встречающийся в практике случай известной структуры $F[U(t), B]$. Пусть, модель процесса представлена в линейном виде

$$F[U(t),\ B]=\sum_{j=0}^{k} b_j f_j(U), \tag{2.22}$$

где $b_j$ — искомые параметры модели; $U=(u_1, \ldots, u_{m'})$ — вектор входных (управляющих) параметров; $f_j(U)$ — заданные функции входных параметров, однозначно вычисленные при известном $U$.

Из-за наличия помех, случайных возмущений и неучтенных факторов измеряемые значения выхода

$$X^{(i)}(t)=F^{(i)}[U(t)]+\zeta^{(i)}(t)=\sum_{j=0}^{k} b_j f_j^{(i)}(U)+\zeta^{(i)}(t), \tag{2.23}$$

где $i=\overline{1, N}$ — число измерений.

Если физическая природа моделируемого процесса и условия проведения эксперимента допускают предположение о нормальном распределении ошибок $\zeta^{(i)}(t)$, которые имеют нулевое математическое ожидание, одинаковы для различных измерений дисперсии $\sigma^2$, не коррелированы между собой и не зависят от $b_j$ и $f_j^{(i)}(U)$, то одним из наиболее результативных методов получения оценок $b_j$ служит метод наименьших квадратов (МНК). При этом ре-

зультаты измерений $X^{(i)}$ являются независимыми, нормально распределенными случайными величинами с математическим ожиданием $M[X^{(i)}(t)]=F^{(i)}[U(t)]$ и одинаковой дисперсией $\sigma^2$.

Если природа процесса и другие соображения не позволяют сделать предположение о нормальности ошибки $\zeta^{(i)}$, то более предпочтительным методом получения оценок и служит метод наименьших модулей (МНМ).

Методы МНК и МНМ позволяют получить оценки значений неизвестных коэффициентов $\hat{b}_j$ и осуществить тем самым построение адективной математической модели процесса. Различие состоит в выборе показателя эффективности при сравнении. Для МНК оценки $\hat{b}_j$ ищутся из условия минимума суммы квадратов отклонений измеряемых значений $X^{(i)}(t)$ от их математического ожидания $F^{(i)}[U(t)]$, а для МНМ из условий минимума суммы модулей ошибки:

$$J_{\text{МНК}}=\sum_{i=1}^{N}(\zeta^{(i)})^2=\sum_{i=1}^{N}\left[X^{(i)}-\sum_{j=0}^{k}\hat{b}_j f_j^{(i)}(U)\right]^2\to\min_{b_j};\qquad(2.24)$$

$$J_{\text{МНК}}=\sum_{i=1}^{N}|\zeta^{(i)}|=\sum_{i=1}^{N}\left|X^{(i)}-\sum_{j=0}^{k}\hat{b}_j f_j^{(i)}(U)\right|\to\min_{b_j}.\qquad(2.25)$$

В случае МНК $k+1$ значения $\hat{b}_j$, минимизирующие показатель (2.24), находят из $(k+1)$ условий:

$$\frac{\partial J_{\text{МНК}}}{\partial\hat{b}_j}=0,\ (j=0,\ 1,\ldots,\ k).\qquad(2.26)$$

Подставляя в эти значения для $J_{\text{МНК}}$, можно получить совместную систему линейных уравнений:

$$\left.\begin{aligned}
&\sum_{s=1}^{N}(f_0^{(s)})^2\hat{b}_0+\sum_{s=1}^{N}f_0^{(s)}f_1^{(s)}\hat{b}_1+\ldots+\sum_{s=1}^{N}f_0^{(s)}f_k^{(s)}\hat{b}_k=\\
&=\sum_{s=1}^{N}f_0^{(s)}X^{(s)};\\
&\sum_{s=1}^{N}f_1^{(s)}f_0^{(s)}\hat{b}_0+\sum_{s=1}^{N}(f_1^{(s)})^2\hat{b}_1+\ldots+\sum_{s=1}^{N}f_1^{(s)}f_k^{(s)}\hat{b}_k=\\
&=\sum_{s=1}^{N}f_1^{(s)}X^{(s)};\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\sum_{s=1}^{N}f_k^{(s)}f_0^{(s)}\hat{b}_0+\sum_{s=1}^{N}f_k^{(s)}f_1^{(s)}\hat{b}_1+\ldots+\sum_{s=1}^{N}(f_k^{(s)})^2\hat{b}_k=\\
&=\sum_{s=1}^{N}f_k^{(s)}X^{(s)}.
\end{aligned}\right\}\qquad(2.27)$$

В матричной форме эту систему можно записать

$$F'F\hat{B}=F'X, \tag{2.28}$$

где $F=\{f_j^{(s)}(U)\}-N_x(k+1)$ — мерная прямоугольная матрица; $\hat{B}=(\hat{b}_0, \hat{b}_1, \ldots, \hat{b}_k)$ — вектор искомых оценок; $X=(x_1, \ldots, x_N)$ — вектор выходных измерений (штрих означает транспортирование). Произведение матриц $F'F$ образует квадратную положительно-определенную матрицу M не вырожденную, если $N\geqslant k+1$ и $k+1$ измерений проводятся в различных точках пространства управлений $G_u$. В этом случае для нее существует обратная матрица $C=(F'F)^{-1}=M^{-1}$.

Из выражения (2.28) следует, что

$$\hat{B}=M^{-1}F'X=CF'X. \tag{2.29}$$

Таким образом, для определения значения оценок необходимо выбрать управления $U\in G_u$, что однозначно задает $F'$ и $C$, и измерить $N\geqslant k+1$ значений $X^{(i)}$. Тогда из (2.29) можно вычислить оценки $\hat{b}_j$. Значения области $G_u$ входных управляющих параметров задают обычно неравенствами

$$-1\leqslant u_i\leqslant 1 \quad (i=\overline{1,\ m}).$$

Выбор $u_i$ осуществляют в области $G_u$ так, чтобы критерий оптимальности, характеризующий, например, эллипсоид рассеивания значений оценок, достигал желаемого экстремального своего значения. Из выражений (2.29), (2.22) и (2.23) следует

$$\hat{B}=CF'X=CF'F[U].$$

Тогда выражения для ковариационной матрицы оценок можно выразить следующим образом:

$$M[(\hat{B}-B)(\hat{B}-B')]=CF'M[(X-F)(X-F)']FC=\sigma^2CF'FC=\sigma^2C. \tag{2.30}$$

С учетом этого выражения наиболее часто в качестве критерия оптимальности выбора $u_i$ употребляется значение определителя ковариационной матрицы

$$J(U)=\det\sigma^2C\to\min, \tag{2.31}$$

т. е. план проведения эксперимента считается оптимальным, если выбор точек измерений $u_i$ позволяет минимизировать значение определителя соответствующей ему ковариационной матрицы. Существуют и другие критерии оптимальности выбора $u_i\in G_u$. Понятно, что решение последних задач связано с использованием ЭВМ и алгоритмизацией оптимального планирования экспериментов с целью построения математических моделей процессов.

В случае применения МНМ для построения математической модели процесса вместо условий (2.26) при определении значений $\hat{b}_j$ может быть использована процедура линейного программирования. Действительно из (2.26) можно записать

$$\left.\begin{aligned} &X^{(i)} - \sum_{j=0}^{k} f_j^{(i)}(U)\,\hat{b}_j = v_i^{(1)} - v_i^{(2)} \\ &(i = \overline{1, N});\ v_i^{(1,2)} \geqslant 0, \end{aligned}\right| \tag{2.32}$$

где $v_i^{(1,2)}$ — искусственно введенные параметры.

Тогда поиск $\hat{b}_j$ по МНМ эквивалентен следующей задаче линейного программирования:

найти такие, при которых $\hat{b}_j$, $v_i^{(1)}$ и $v_i^{(2)}$,

$$J_\Sigma = \sum_{i=1}^{N} (v_i^{(1)} + v_i^{(2)}) \to \min \tag{2.33}$$

и выполняются условия:

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{j=0}^{k} f_j^{(i)}(U)\,\hat{b}_j + v_i^{(1)} - v_i^{(2)} = X^{(i)}; \\ &(i = \overline{1, N});\ v_i^{(1,2)} \geqslant 0. \end{aligned}\right| \tag{2.34}$$

Задачи линейного программирования можно решать при заданных $f_j^{(i)}(U)$. Величины $f_j^{(i)}(U)$ определяются при выборе значений $U \in G_u$, т. е. при заданном плане проведения измерений $u_i$. Если при использовании МНК сначала получают аналитические зависимости и затем осуществляется алгоритмический поиск оптимального плана $u_i$, то в случае применения МНМ задача построения математической модели сразу же сводится к задаче, реализация которой возможна лишь алгоритмическим путем с помощью методов решения задач параметрического линейного программирования. Только при решении такого типа задач сразу удается получить и значение $b_j$ и точки области $G_u$ проведения оптимального эксперимента:

$$\min\ \min \left\{ \sum_{i=1}^{N} \left| X^{(i)} - \sum_{j=1}^{k} \hat{b}_j f_j^{(i)}(u_i) \right| \right\}. \tag{2.35}$$

Процедуры построения математических моделей процессов на базе МНК и МНМ с использованием методологии оптимального планирования экспериментов позволяют получить статические и линейные модели процессов.

На практике очень часто возникают задачи построения математических моделей динамических процессов, вид которых определен системой дифференциальных уравнений. Наиболее характерными задачами такого типа являются задачи идентификации параметров простейшего контура системы УВД. Известно, что функционирование системы УВД во многом определяется так называемым личностным фактором — одним из самых существенных при анализе деятельности экипажа летательного аппарата и диспетчера, непосред-

ственно осуществляющего УВД. Кроме того, важно учитывать метеоявления и характеристики самого летательного аппарата. Поэтому важно решать задачи как идентификации параметров простейшего контура УВД при заданном виде моделей процессов, так и отдельных процессов в нем при неизвестном виде их моделей. Применительно к системе УВД решение такой задачи целесообразно осуществлять, анализируя траектории движения центров масс летательных аппаратов, так как результатом действий возмущений, влияния параметров и характеристик человека-оператора всегда служат количественные характеристики траектории движения.

Итак, пусть движение летательных аппаратов как характеристика простейшего контура УВД вдоль расчетной (заданной) траектории $y_i^{(s)}(t_{ii}) = F_i^{(s)}(t/t_{ii})$ описывается решением векторного дифференциального уравнения

$$\dot{X}^{(s)} = F^{(s)}(X,\ a,\ U) + \zeta^{(s)}(t),$$

где $s = \overline{1,\ N}$ — число летательных аппаратов в зонах УВД.

Вектор $X(t)$ может быть представлен путем соответствующего расширения размерности в виде вектора состояния процесса (движения). Поскольку программное движение каждого $s$-го летательного аппарата на диспетчерском пункте известно, то оно может быть представлено линейной моделью измерения состояний в отклонениях (1.5) либо в матричном виде

$$\dot{q}^{(s)} = A^{(s)} q^{(s)} + B^{(s)} U^{(s)} + D^{(s)} Z^{(s)} \quad (s = \overline{1,\ N}) \qquad (2.36)$$

где $q^{(s)}(t)$ — $n$-мерный вектор отклонений компонент состояния процесса от программного значения $q_i^{(s)} = \varphi\left[ y_i^{(s)} - \sum_{j=1}^{r} h_{ij} X_j^{(s)} \right]$; $(i = \overline{1,\ n})$; $Z^{(s)}$ — возмущения в виде $m$-мерного вектора гауссовского случайного процесса с нулевым математическим ожиданием и известной корреляционной матрицей $M\,Z(t)Z'(t) = z(t, \tau)$; $\sum_{j=1}^{p} d_j z_j = \omega_i^{(s)}(t)$.

Матрицы

$$A^{(s)} = \{a_{il}^{(s)}\},\ B^{(s)} = \{b_{ir}^{(s)}\} \text{ и } D^{(s)} = \{d_{ij}^{(s)}\};\ i, l = \overline{1,\ n};\ r = \overline{1,\ m};\ j = \overline{1,\ p}$$

подлежат определению в процессе идентификации. При этом можно заметить, что математическое ожидание отклонения $q(t)$ не будет равно нулю на интервале идентификации $M[q(t)] \neq 0$; $t \in [t_0, T]$. Отклонения $q_i^{(s)}(t)$, $i = 1,\ n$ — «не нулевые в среднем» малые величины. Тот факт, что $q^{(s)}(t)$ — вектор малых отклонений в сравнении с вектором состояний $X^{(s)}(t)$, используется здесь для обоснования допустимости линеаризации уравнений движения каждого $s$-го летательного аппарата, если задана программа его движения.

Пусть значение определенных компонент вектора в любой момент времени в интервале $t \in [t_0, T]$ может быть измерено. При этом отклонения $q^{(s)}(t)$ находятся в линейной зависимости вида

$$\tilde{X}^{(s)}(t) = S^{(s)}(t) q^{(s)}(t) + \eta(t), \qquad (2.37)$$

где $\tilde{X}^{(s)}$ — мерный вектор измерений на $t \in [t_0, T]$ (не следует путать с $n$-мерным вектором $X^{(s)}$); $\eta(t)$ — гауссовский случайный $l$-мерный процесс с нулевым средним значением и $M\eta(t)\eta(t) = N_\eta(t, \tau)$.

Пусть, кроме того, $Mz^{(s)}(t)\eta^{(s)}(t) = K(t, \tau)$, корреляционные матрицы $N_\eta(t, \tau)$, $K(t, \tau)$ — известны. Задача состоит в том, чтобы на основе измерений $\tilde{X}^{(s)}(t)$, $t \in [t_0, T]$ найти значения параметров $a_{il}^{(s)}$ и $b_{ir}^{(s)}$ модели указанного процесса в простейшем контуре системы УВД таким образом, чтобы сформированная модель процесса была близка действительному процессу в простейшем контуре системы УВД. Сформулированная общая задача идентификации характеризуется высокой сложностью, так как элементы матриц $\{a_{il}^{(s)}\}$ $\{b_{ir}^{(s)}\}$ содержат именно те передаточные функции (коэффициенты), которые, кроме всего прочего, характеризуют в количественном виде личностный фактор, т. е. деятельность пилота и диспетчера. Совместное и разделенное моделирование этих элементов уже само по себе является сложнейшей проблемой, исследованию определенных аспектов которой посвящено целое научное направление [22]. Среди элементов $\{a_{il}^{(s)}\}$ содержатся еще и неизвестные отклонения стандартных параметров объекта управления (летательного аппарата) элементов измерительного устройства, а также учитывающие внешние ветровые возмущения и др. Все это приводит к практически необозримой задаче, для решения которой лишь принципиально пригодны известные методы идентификации [57]. В связи с прикладной направленностью задачи следует искать ее технические и аналитические решения в неразрывном комплексе. При этом под техническим понимают решения, связанные с применением различных измерительных устройств (РЛС совместно со стандартными фоторегистрирующими, теодолиты либо лазерные траекторные измерители ЛТМ), различных вариантов схем движения летательных аппаратов и осуществления УВД. Аналитические решения связаны с алгоритмом идентификации, направленным на ее осуществление при выбранном техническом решении, т. е. в данной схеме и при данном измерительном устройстве. Такой подход позволяет получить практически реализуемый метод идентификации параметров простейшего контура системы УВД.

Рассмотрим лишь общую схему технического решения и наметим пути аналитического решения задачи идентификации. Например, при идентификации посадочного контура УВД целесообразно использовать поэтапное решение задачи путем применения на первом из них экспериментальных исследований (схемы захода на посадку в директорном режиме без участия команд диспетчера), а на втором схемы захода на посадку по посадочному локатору (ПРЛ)

и командам диспетчера. Измерительный комплекс во всех случаях должен включать устройства, измеряющие движение (ЛТИ, ПРЛ) и действия пилота и диспетчера. Результаты измерений используются в вычислительном комплексе для аналитического решения задачи идентификации. Весь комплекс устройств, участвующих в решении данной задачи, может быть представлен в виде блок-схемы простейшего контура (см. рис. 1.1), где в качестве блока *4.1* может быть не только ПРЛ и ЛТИ, но и вычислительный комплекс (ВК).

Основу алгоритмов, реализуемых в ВК при решении задачи идентификации, составляет многократно повторенный (для каждого из идентифицируемых элементов простейшего контура системы УВД) алгоритм оценки, получаемый из общих положений.

Пусть любой из идентифицируемых элементов контура (*s*-й летательный аппарат) оценивается величиной вектора состояний — обобщенных координат

$$\widetilde{q}^{(s)}(\widetilde{T}) = \int_{t_0}^{T} P(T, \tau)\, \widetilde{X}^{(s)}(\tau)\, d\tau. \qquad (2.38)$$

Близость идентифицируемых параметров модели элемента и действительных значений его параметров определяется квадратичным функционалом

$$J_2 = T r_1' [W Q(t)] + T r_1^1 M [q(t) - \widetilde{X}(t)], \qquad (2.39)$$

где $Q(T)$ — матрица вторых моментов оценки; $W$ — весовая матрица; M — символ математического ожидания; $Tr$ — «след матрицы», т. е. сумма элементов ее главной диагонали.

Задача сводится, таким образом, к выбору такой весовой матричной функции $\{p_{il}(\tau)\}$, которая является решением неклассической (т. е. при наличии ограничивающих условий) вариационной задачи:

$$\min_{P(T,\tau)} \{T r [WQ(T)]/q(T) = M [X(T)]. \qquad (2.40)$$

Физический смысл решений такой задачи заключается в том, что необходимо выбрать такие элементы матрицы $\{p_{il}(\tau)\}$, являющейся аналогом (моделью) матрицы A в (2.36), при которых, начиная с некоторого момента, идентифицируемая модель имеет на выходе вектор обобщенных координат, наилучшим образом, в смысле показателя (2.39), совпадающий с действительным состоянием процесса. Наличие дополнительных условий существенно отличает предлагаемый подход от известных [57, 58]. Однако традиционный путь, состоящий в решении задачи оптимальной оценки при среднеквадратических показателях, близких (2.39), и ведущий к получению фильтра Калмана, работоспособен лишь при непременном требовании задания помех $z(t)$ и $\eta(t)$ в виде белого шума. В условиях эксперимента трудно определить природу реальных шумов $z(t, \tau)$ и $\eta(t)$. Построение же формирующего фильтра для моделирования действительных помех ведет к многоступенчатой задаче идентифи-

кации, что сравнимо по трудности с решением задачи (2.40). Поэтому проблема идентификации параметров элементов простейшего контура системы УВД, рассматриваемого как динамическая человеко-машинная система, решается путем поэтапного построения моделей отдельных элементов с помощью измерительных устройств (ЛТИ, ПРЛ, биорегистраторы) и обработки результатов измерений в виде алгоритма решения вибрационной задачи (2.40).

**Контрольные вопросы**

1. Приведите примеры, подтверждающие необходимость построения математической модели процессов в системе УВД.
2. Какие процессы в системе УВД могут рассматриваться с помощью теории массового обслуживания?
3. Поясните основную цель и задачи теории массового обслуживания.
4. Какие основные характеристики и взаимозависимости строятся с помощью моделей обслуживания?
5. Дайте общую характеристику методам построения моделей обслуживания.
6. В чем состоит сущность основных трудностей непосредственного применения теории массового обслуживания для моделирования процессов в системе УВД?
7. Поясните основную цель и задачи теории оптимального планирования экспериментов. Как ее можно интерпретировать в случае необходимости построения математической модели процесса?
8. Приведите общую постановку задачи построения математической модели процесса в терминах теории планирования экспериментов.
9. Какие методы составляют основу аналитических преобразований при определении параметров модели процесса при заданной и линейной структуре?
10. Дайте формулировку задачи параметрического линейного программирования в случае применения метода наименьших модулей для построения модели.
11. Приведите постановку задачи идентификации динамических процессов в простейшем контуре УВД.
12. Поясните сущность общего подхода к решению задачи идентификации динамических процессов.

## Глава 3

## ОСНОВЫ АЛГОРИТМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УВД

### 3.1. Элементы общей теории алгоритмов

Эффективность функционирования АС УВД в значительной степени определяется качеством математического обеспечения вычислительных процессов. Одной из основных составляющих этой проблемы является алгоритмизация процессов УВД на всех этапах организации, совершенствования и функционирования АС УВД.

В широком смысле слова под алгоритмизацией процессов УВД понимается комплекс мероприятий по разработке и программной реализации на ЭВМ, входящей в состав АС УВД, системы алгоритмов решения функциональных задач. Алгоритмизация процессов УВД, как и алгоритмизация любых сложных систем управления

[59], предполагает выполнение ряда этапов с решением на каждом из них ряда проблем теоретического и прикладного характера.

Такими этапами являются: обоснование рациональной степени автоматизации процессов в системе УВД; определение задач автоматизированного управления на основе выделения анализа и согласования локальных и общих целей управления; разработка состава входных и выходных данных, необходимых для достижения заданной цели управления; определение характеристик информационных потоков; разработка рациональной структурной организации системы алгоритмов; рациональный синтез отдельных алгоритмов; определение структуры и требований к вычислительной системе, обеспечивающих рациональную реализацию алгоритмов в АС; выбор ЭВМ; оценка качества системы алгоритмов с точки зрения их реализуемости на выбранной ЭВМ и полноты решения задач; разработка и отладка программ реализации системы алгоритмов; оценки эффективности программной реализации системы алгоритмов.

Этапы процесса алгоритмизации являются взаимосвязанными. При этом решения, принятые на определенном этапе алгоритмизации, оказывают влияние на возможные решения на других этапах. Однако, как правило, процесс алгоритмизации осуществляется в рассмотренной последовательности. Полученные на каждом этапе решения рассматриваются в качестве ограничений множества допустимых решений на последующих этапах или при неудовлетворении каких-либо требований в качестве корректирующих воздействий на решения, полученные на предыдущих этапах. Проблема алгоритмизации, являясь комплексной, учитывает характер связей между этапами и может быть разбита на ряд частных проблем, соответствующих отдельным этапам. Каждый этап алгоритмизации характеризуется присущими ему общими принципами и методами выработки и принятия решений, оценки их эффективности, особенности реализации полученных решений.

В настоящее время еще не существует общей теории алгоритмизации процессов в сложных системах управления. В качестве отдельных ее разделов можно рассматривать теорию алгоритмов, теорию программирования, теорию проектирования управляющих вычислительных машин, а также ряд прикладных и теоретических дисциплин из теории технической кибернетики (исследование операций, методы оптимизации и др.), которые составляют методическую базу для разработки АСУ различного назначения. Каждый из этих разделов характеризуется различной степенью общности применения основных результатов к различным АСУ. Алгоритмизация процессов УВД как один из этапов проектирования АС УВД также обладает специфическими особенностями использования общесистемных методов, вытекающих из функционального назначения АС УВД.

В узком смысле слова под алгоритмизацией процессов УВД понимается процесс разработки и программной реализации алгоритмов решения отдельных функциональных задач АС УВД. В насто-

ящее время теория алгоритмов и программирования располагает большим количеством методов, пригодных для алгоритмизации задач АС УВД различных классов.

Алгоритм решения задачи представляет собой совокупность предписаний, определяющих процесс преобразования исходных и промежуточных данных с целью получения выходных данных, т. е. результата решения задачи. Алгоритм характеризуется такими основными свойствами [60], как детерминированность, массовость и результативность. Детерминированность алгоритма означает недопустимость неоднозначных толкований существа предписаний. Массовость алгоритма обеспечивает возможность его применения к исходным данным, изменяющимся в известных допустимых пределах. Результативность трактуется как свойство алгоритма получить искомый результат через конечное число шагов выполнения предписаний для любых допустимых исходных данных.

Основой для разработки алгоритмов являются содержательная и математическая модели алгоритмизуемого процесса, а также данные об информационных потоках процесса. На основе анализа сформулированных функциональных задач и выбора метода их решения синтезируются соответствующие алгоритмы. В теории алгоритмов разработаны специальные формализованные языки описания алгоритмов — алгоритмические языки.

Алгоритмическим языком называется совокупность набора основных символов и правил для построения алгоритмов . В качестве символов используются как буквы соответствующего алфавита, так и другие обозначения. Задание предписаний в различных алгоритмических языках осуществляется также с помощью чисел, слов, последовательностей слов (предложений), таблиц, систем таблиц и т. д. Различают проблемно-ориентированные, машинно-ориентированные и машинные языки.

Проблемно-ориентированные языки предназначены для описания алгоритмов решения задач без учета специфики и конкретных характеристик ЭВМ, на которых эти алгоритмы будут реализованы. Однако алгоритмы решения отдельных задач в силу большого их разнообразия, а также используемой информации оказываются специфичными для каждого класса задач. Поэтому существуют как специализированные языки (ориентированные на определенный класс задач), так и общие пригодные для описания алгоритмов решения широкого класса задач.

Одними из представителей общих языков являются логические схемы алгоритмов (ЛСА) [15, 61]. При составлении ЛСА предписаниям, определяющим последовательность выполняемых действий над исходными или промежуточными данными, сопоставляются операторы, обозначаемые большими латинскими буквами $A$, $B$, $C$, .... Различные операторы обозначаются различными буквами или одной и той же буквой с различными индексами $A_1$, $A_2$, .... Если предписание определяет одинаковые действия над различными частями перерабатываемой информации, которым можно поставить в соответствие некоторые значения одного или нескольких парамет-

ров $i, j, k, \ldots$, то таким предписаниям сопоставляется оператор, зависящий от параметров $B(i), B(i, k), \ldots$.

Последовательность выполнения операторов в ЛСА определяется порядком их записи. Например, запись $AB_1C(i)$ означает, что сначала выполняется оператор $A$, затем $B_1$ и последним $C(i)$. В случае когда имеются предписания, определяющие логические действия над исходными данными, последовательный порядок выполнения операторов может быть нарушен. Изменение порядка выполнения операторов в зависимости от логических условий в формализованной записи ЛСА обозначается малыми латинскими буквами $p, q, r, \ldots$ с индексами или без них аналогично обозначениям операторов. Каждое логическое условие сопровождается стрелкой. Начало стрелки с порядковым номером $\tau$ (обозначение $\uparrow^{\tau}$) ставится справа от обозначения логического условия, а ее конец (обозначение $\downarrow^{\tau}$) — слева от обозначения того оператора в ЛСА, который должен выполняться, если проверяемое логическое условие не выполняется. Логическим условиям ставятся в соответствие логические переменные, обозначаемые обычно теми же буквами. Считается, что $p=1$, если логическое условие $p$ выполнено, и $p=0$ в противном случае.

Часто при реализации алгоритмов процессов УВД, особенно при наличии большого числа логических условий, возникает необходимость в соответствии с предписаниями выполнить оператор, предшествующий рассматриваемому. Формальное описание такого случая при составлении ЛСА обеспечивается введением тождественно-ложного логического условия, обозначаемого через $\omega$. Это условие не требует проверки, т. е. обеспечивается безусловный переход к выполнению соответствующего оператора. Выражения, составленные из следующих друг за другом обозначений операторов и логических условий, а также расставленных определенным в соответствии с предписаниями образом нумерованных стрелок образуют ЛСА.

Рассмотрим порядок выполнения алгоритма по его логической схеме на примере фрагмента задачи, которая возникает при планировании воздушного движения. При этом ограничимся постановкой задачи и построением алгоритма в общей описательной форме.

Пусть имеется $n+1$ планов полета. Каждый из этих планов определяет программу полета соответствующего летательного аппарата в зоне УВД. Требуется проверить $n+1$ план на конфликтность с остальными $n$ планами. При отсутствии конфликта план полета утверждается (принимается) в заданном виде. В противном случае в соответствии с определенными правилами производится модификация $n+1$ плана и проверка осуществляется сначала.

Один из возможных вариантов ЛСА для этого фрагмента задачи можно записать в следующем виде

$$\downarrow^{3} I_1 \downarrow^{2} p_1(i) \uparrow^{1} A\,\omega \uparrow^{3} \downarrow^{1} I_2\, p_2 \uparrow^{2}, \qquad (3.1)$$

где $I_1$ — оператор установки начального значения номера проверяемого плана $i=1$; $p_1(i)$ — условие проверки на конфликтность

$n+1$ и $i$-го планов ($p_1(i)=1$, если планы конфликтуют); $A$ — оператор модификации $n+1$ плана; $I_2$ — оператор установки очередного значения номера проверяемого плана ($i:=i+1$); $p_2$ — условие окончания проверки ($p_2=0$, если $i \leqslant n$).

Работа алгоритма начинается с левого члена ЛСА — $I_1$. В результате его выполнения параметру $i$ присваивается значение 1. Так как последний выполненный член ЛСА является оператором, следующим выполняется член ЛСА, стоящий за ним справа, — $p_1(i)$. В этом операторе осуществляется выборка параметров $i$-го плана полета (маршрут, высота, время пролета контрольных точек) и сравнение их по одной и той же для всех значений $i$-й процедуре с соответствующими параметрами $n+1$ плана. Далее возможны два случая.

1. Если логическое условие выполнено ($p_1(i)=1$, т. е. $i$-й и $n+1$ планы конфликтуют), то следующим выполняется член ЛСА, находящийся справа, —$A$. В этом случае в результате выполнения оператора $A$ изменяются параметры $n+1$ плана и, так как за оператором $A$ справа следует тождественно-ложное логическое условие $\omega$, следующим выполняется тот член, к которому ведет стрелка, начинающаяся после данного условия — $I_1$.

2. В случае когда $p_1(i)=0$, для выполнения выбирается оператор $I_2$, к которому ведет стрелка, начинающаяся после условия $p_1(i)$. После установки нового значения (увеличения на 1) параметра $i$ осуществляется переход к выполнению стоящего справа от оператора $I_2$ члена $p_2$, который является логическим условием. Если оно не выполнено, то это означает, что еще не все планы проанализированы и осуществляется переход (по стрелке 2) к выполнению члена $p_1(i)$. Если условие $p_2$ выполнено, это означает, что все $n$ планов проанализированы на конфликтность с $n+1$ планом и для всех планов получен отрицательный результат, т. е. $p_1(i)=0$ ($i=\overline{1, n}$). В этом случае работа алгоритма заканчивается, так как за членом $p_2$ справа в ЛСА нет других членов.

Рассмотренный пример показывает, что каждый из операторов ЛСА или логических условий может являться функцией от других операторов и логических условий. Выполнение каждого оператора или логического условия может быть связано с реализацией соответствующих частных алгоритмов, которые описываются, в свою очередь, частными ЛСА.

Частные алгоритмы описывают процессы функционирования отдельных подсистем, элементов системы или процессы выработки и принятия решений и образуют по аналогии с общей моделью системы иерархическую структуру алгоритмов. Таким образом как составление комплекса алгоритмов решения функциональных задач, так и разработка отдельных алгоритмов основываются на общесистемном принципе декомпозиции процессов и предполагают разбиение общего алгоритма на составляющие более элементарные алгоритмы и т. д. Такой подход к разработке алгоритмов с различной степенью детализации на различных уровнях иерархии позволяет достаточно легко ориентироваться в общей идее построения

комплекса алгоритмов, отражает их логическую структуру, обеспечивает гибкость и оперативность по отношению к изменениям, что облегчает, в свою очередь, отладку общего алгоритма.

В настоящее время не представляется возможным указать формальные правила построения структуры и разбиения общего алгоритма на элементарные. Поэтому процесс алгоритмизации является в значительной степени творческим актом, особенно на этапе предварительной разработки алгоритмов. Сложность процесса алгоритмизации усугубляется также отсутствием обоснованных рекомендаций по выбору метода алгоритмизации, т. е. способа формализованного описания исследуемого процесса.

Одним из определяющих факторов, которые должны учитываться при выборе метода алгоритмизации, является целевое назначение алгоритма, которое изменяется в зависимости от выполняемого этапа алгоритмизации процесса УВД (в широком смысле). Так, на этапах разработки состава входных и выходных данных, определения характеристик информационных потоков, а также разработки программ одним из основных требований к алгоритму является наглядность представления последовательности выполнения алгоритма.

На этапе разработки рациональной структуры системы алгоритмов и рационального синтеза отдельных алгоритмов на первое место выдвигается требование наиболее полной формализации алгоритмов, допускающей использование известных методов для их оптимизации.

Логические схемы алгоритмов не в полной мере удовлетворяют обеим группам требований, хотя и обладают достаточно высокой степенью формализации и наглядности. Поэтому, несмотря на очевидное достоинство ЛСА, состоящее в компактной форме записи, на практике используются и другие способы описания структуры алгоритма. Одним из них, обладающим более высокой по сравнению с ЛСА степенью формализации, является матричная схема алгоритма (МСА). Для ее описания рассмотрим множество операторов $\{A_i,\ i=\overline{0,\ k}\}$. В этом множестве оператор $A_0$ символизирует начало (оператор начала), а оператор $A_k$ — окончание (оператор конца) выполнения алгоритма.

Обозначения $A_i$ $(i=\overline{1,\ k-1})$ соответствуют содержательным операторам алгоритма.

Пусть порядок выполнения операторов определяется множеством логических условий $\pi$ : $\{p_s,\ s=\overline{1,\ m}\}$. Рассмотрим логические функции

$$\alpha_{ij}=\alpha_{ij}(\pi)\ \ (i=\overline{0,\ k-1};\ \ j=\overline{1,\ k})$$

значения которых определяются на множестве логических условий $\pi$, так как оператор $A_j$ выполняется после оператора $A_i$, если $\alpha_{ij}=1$. При этом значения логических функций в процессе реализации алгоритма определяются текущими значениями переменных, соответ-

ствующих логическим условиям. Квадратная матрица, элементами которой являются логические функции $\alpha_{ij}$, называется МСА.

Значения элементов матрицы $\alpha_{ij}$ удовлетворяют условиям:

$$\alpha_{ij} \wedge \alpha_{is} = 0, \quad j \neq s; \quad \bigvee_{j=1}^{k} \alpha_{ij} = 1 \; (i = \overline{0,\ k-1}).$$

Эти условия определяют однозначность выбора оператора, выполняемого за оператором $A_i$, и могут быть использованы при анализе для проверки качества построенного алгоритма.

В качестве примера рассмотрим состояние МСА для ЛСА, определяемой выражением (3.1).

Для удобства введем операторы $A_0 = N$ и $A_k = 0$ и перепишем ЛСА в виде

$$N \downarrow^{3} I_1 \downarrow^{2} p_1 \uparrow^{1} A\omega \uparrow^{3} \downarrow^{1} I_2 p_2 \uparrow^{2} \mathrm{O}.$$

Поставим в соответствие строкам $(i = \overline{0,3})$ МСА операторы $N$, $I_1$, $A$, $I_2$, а столбцам $(j = \overline{1,4})$ — $I_1$, $A$, $I_2$, O и найдем функции $\alpha_{ij}$. Так как после оператора $N$ всегда выполняется оператор $I_1$, то $\alpha_{01} = 1$, $\alpha_{02} = \alpha_{03} = \alpha_{04} = 0$. После оператора $I_1$ выполняется оператор $A$, если $p = 1$ и оператор $I_2$, если $p_1 = 0$ $(\overline{p}_1 = 1)$. Поэтому $\alpha_{12} = p_1$; $\alpha_{13} = \overline{p}_1$, $\alpha_{11} = \alpha_{14} = 0$. За оператором $A$ всегда выполняется оператор $I_1$, поэтому только один элемент в третьей строке отличен от нуля $\alpha_{21} = 1$. Переход от оператора $I_2$ к оператору O происходит при $p_2 = 1$, т. е. $\alpha_{34} = p_2$.

При $p_2 = 0$ осуществляются переходы так же, как после выполнения оператора $I_1$, т. е. $\alpha_{32} = \overline{p}_1 \overline{p}_2$; $\alpha_{33} = \overline{p}_1 \overline{p}_2$. Таким образом, искомая МСА может быть представлена в виде

$$\begin{array}{c} \\ N \\ I_1 \\ A \\ I_2 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} I_1 & A & I_2 & \mathrm{O} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & p_1 & \overline{p}_1 & \\ 1 & & & \\ & \overline{p}_1 \overline{p}_2 & & \overline{p}_1 \overline{p}_2 p_2 \end{bmatrix} \end{array} \qquad (3.2)$$

От МСА можно перейти к ЛСА. Существует ряд способов такого перехода, рассматриваемых, например, в теории синтеза структур автоматов [61]. ЛСА, полученные в результате преобразования различными способами одной и той же МСА не обязательно совпадают по форме записи.

Возможность описания одного и того же алгоритма различными ЛСА используется при синтезе алгоритмов, рациональных с точки зрения их реализации.

Среди способов задания алгоритмов, дающих наиболее наглядное представление об их структуре, выделяются граф-схемы алгоритмов [62] и тесно связанные с ними различные варианты блок-схем [63, 64], которые являются частными случаями ЛСА, заданными в графической форме. При этом буквенным обозначениям опе-

раторов и логических условий ставятся в соответствие некоторые графические символы. В простейшем случае изображения граф-схемы можно использовать два символа: для обозначения оператора — прямоугольник, а для обозначения логического условия — кружочек. Переходы от одних операторов и логических условий к другим обозначаются направленными стрелками (дугами графа). При этом переходы от проверки логического условия к следующему члену алгоритма помечаются специальными символами. Например, переход при единичном значении логической переменной $p=1$ отмечается знаком «+» или «да», а при $p=0$ знаком «—» или «нет».

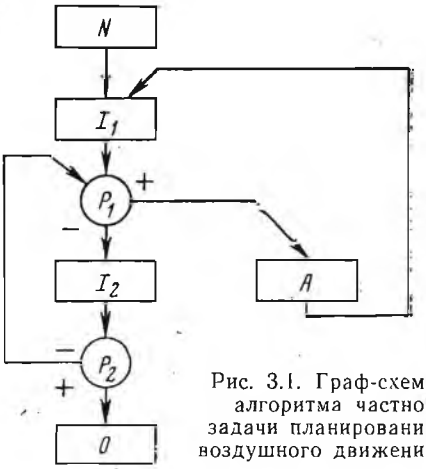



Рис. 3.1. Граф-схема алгоритма частной задачи планирования воздушного движения

Рассмотренный алгоритм может быть представлен в виде граф-схемы, приведенной на рис. 3.1. В общем случае для обеспечения большей наглядности представления о процессе переработки информации в зависимости от назначения и характера отображаемых функций, реализуемых при выполнении членов алгоритма, используют множество графических символов. При этом символы, как правило, делятся на основные, используемые для представления функций ввода-вывода, обработки и передачи данных, и вспомогательные, применяемые для пояснения отдельных элементов и частей схемы алгоритма и обозначения связей между ними [61, 64].

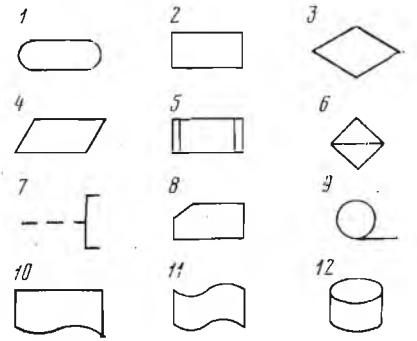



Рис. 3.2. Символы граф-схемы алгоритма:
*1*—начало-конец; *2*—операция; *3*—переход (логическое условие); *4*—ввод-вывод; *5*—совокупность операторов (подпрограмма); *6*—сортировка; *7*—комментарий; *8*—перфокарта; *9*—магнитная лента; *10*—табулограмма; *11*—перфолента; *12*—магнитный диск

К основным символам относятся графические изображения функциональных частей (блоков) алгоритма, определяющих некоторую законченную процедуру обработки данных (например, ввод данных, сортировка, вычислительные операции, вывод данных и др.), а также символы носителей информации, описывающие местоположение входной и выходной информации для соответствующего функционального блока.

Вспомогательными символами являются комментарии. В них описывается структура организации данных, поясняются функциональ-

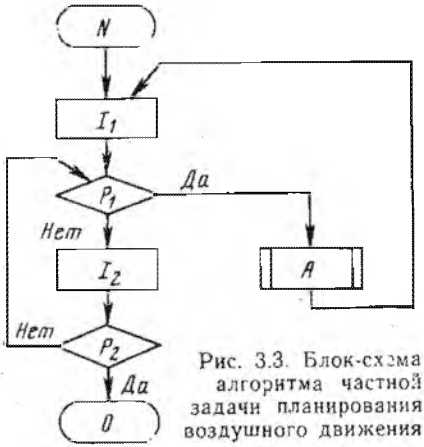



Рис. 3.3. Блок-схема алгоритма частной задачи планирования воздушного движения

ные блоки и т. д. На рис. 3.2 и рис. 3.3 приведены некоторые символы, используемые при блок-схемном методе алгоритмизации [64].

Возможность совмещения при реализации отдельных алгоритмов или их частей приводит к необходимости построения языков для описания алгоритмов так называемого параллельного типа. В качестве одного из таких языков в работе [65] был предложен язык ЛСА II, который позволяет описывать алгоритмы с параллельными участками. Недостатком этого языка является возможная громоздкость описания сложных алгоритмов, так как ЛСА II создан на основе сочетания логических и граф-схем алгоритмов. Лишен этого недостатка язык параллельных логических схем алгоритма (ПЛСА), так как в нем с помощью введения в язык ЛСА специальных операторов и дополнительных символов сохранена линейная форма записи алгоритмов с параллельными участками [61]. Существуют и другие языки описания алгоритмов, в различной степени ориентированные на определенные классы задач.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные этапы алгоритмизации процессов УВД.
2. Дайте определение понятия алгоритма и назовите его основные свойства.
3. Дайте краткую характеристику ЛСА как языка алгоритмизации.
4. Опишите процесс составления алгоритмов с помощью ЛСА.
5. Приведите пример ЛСА и опишите порядок выполнения алгоритма.
6. Перечислите достоинства и недостатки языка ЛСА, дайте краткую характеристику его применимости на различных этапах алгоритмизации.
7. Опишите процесс составления МСА. Приведите пример ее построения по известной ЛСА.
8. Перечислите основные символы, используемые в граф-схемах и блок-схемах алгоритмов. Назовите их достоинства и недостатки.
9. Приведите примеры составления граф-схем и блок-схем алгоритмов.
10. В чем состоят особенности реализации алгоритмов во времени? Какие языки используются для алгоритмизации параллельных процессов?

## 3.2. Краткая характеристика языков программирования

Языками программирования называют определенный набор символов, причем управляющих способом и последовательностью соединения символов в осмысленные сообщения. В общем случае использования универсальной ЦВМ имеется несколько входных языков. Различают проблемно-ориентированные и машинно-ориентированные языки программирования.

Машинно-ориентированные языки используются для описания процесса обработки информации с учетом реализации алгоритмов в определенном классе ЦВМ. Среди них наибольшее распространение в практике эксплуатации ЦВМ получили автокоды, которые предназначены для составления программ с учетом системы команд конкретной ЦВМ. Специфичность систем команд различных ЦВМ привела к необходимости разработки автокодов для всех типов ЦВМ, выпускаемых серийно.

Автокоды вместе с машинными языками часто относят к языкам программирования низшего уровня. Однако такое сопоставление является условным. Среди автокодов выделяются простейшие — покомандные, в которых каждой команде ЦВМ соответствует ее изображение (мнемонический код) на автокоде. Такие автокоды после использования библиотек стандартных программ являются первым этапом в автоматизации программирования и по сравнению с машинными языками уже обладают рядом преимуществ, которые обеспечивают сокращение времени и снижение трудоемкости программирования [66, 67].

Автокоды для ЦВМ второго и третьего поколения (Ассемблер ЕС ЭВМ), как правило, обеспечивают возможности использования операторов или макрокоманд, соответствующих целым подпрограммам. Это позволяет более гибко реализовать все возможности ЦВМ, используемой в автоматизированной системе. К их числу относятся удобства записи операторов опроса аналоговых и цифровых датчиков, выдачи управляющих сигналов на средства отображения информации, обмена информацией с различными внешними устройствами ввода-вывода, обращения к системе, организующей режимы обработки информации (операционной системе) в процессе функционирования автоматизированной системы, и многие другие. Перечисленные возможности автокодов непосредственно используются также при разработке программного обеспечения АС УВД.

Автокоды являются достаточно эффективным средством программирования, особенно в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокое качество программы с точки зрения ее быстродействия и рационального распределения объемов памяти или при автоматизации решения специальных классов задач управления, для записи алгоритмов которых нет подходящих проблемно-ориентированных языков программирования.

В то же время в АС УВД, так же как и в других автоматизированных системах, можно выделить большие классы задач, к которым не предъявляется жестких требований, например к времени реализации их алгоритмов. Это не означает, что быстродействие соответствующих программ может быть сколь угодно низким. Некоторые особенности алгоритмизации процессов УВД, обусловлены необходимостью их реализации в реальном масштабе времени. Определенные ограничения на показатели качества программной реализации алгоритмов в АС УВД накладываются на всех этапах ее развития и функционирования в силу непрерывности технологических процессов в системе УВД. Применительно к таким классам за-

дач привязка автокодов к конкретной системе команд оказывается существенным недостатком, связанным прежде всего с недостаточной наглядностью и компактностью записи программ на автокоде.

Проблемно-ориентированные языки программирования свободны от этого недостатка. Они характеризуются абстрагированностью записи алгоритма от системы команд конкретных вычислительных машин. В проблемно-ориентированных языках используемые операторы крупнее, чем операции автокода, и в значительной степени соответствуют операциям, используемым при вычислениях без применения ЦВМ. Отсутствие или наличие очень слабой зависимости проблемно-ориентированных языков от конкретных характеристик ЦВМ позволяет говорить об их универсальности, как средстве автоматизации программирования для некоторого множества классов ЦВМ, использующих соответствующий проблемно-ориентированный язык в качестве входного языка. Это свойство обеспечивает возможность разработки большинства программ и их апробации, а также моделирования основных элементов процесса функционирования автоматизированной системы до окончательного выбора комплекса технических средств, в том числе и средств вычислительной техники, используемых в АС УВД. Таким образом, кроме отмеченных достоинств, применение проблемно-ориентированных языков программирования создает предпосылки для успешной реализации принципа декомпозиции при алгоритмизации в широком смысле.

Однако наличие широкого круга функциональных задач в АС УВД с большим разнообразием видов представления входной информации и результатов, характера информационных связей между ними, а также требований к качеству их реализации не позволяет выделить из известных языков один язык, в одинаковой степени пригодный для описания решений всех классов задач. В настоящее время разработано значительное количество языков программирования, ориентированных на решение задач различного характера. Наиболее распространенными из них являются АЛГОЛ-60, ФОРТРАН, КОБОЛ, PL-1. Описанию этих языков и вопросам их использования для алгоритмизации различных процессов посвящено в настоящее время большое число работ [66, 68].

Первым проблемно-ориентированным языком, получившим впоследствии широкое распространение, является ФОРТРАН (FORTRAN). Разработанный в первоначальном виде, он предназначался для записи алгоритмов решения задач численного анализа, а затем по мере накопления опыта стал использоваться для широкого класса научных и инженерных задач, включая задачи оптимизации процессов. Один из последних и более совершенных вариантов этого языка ФОРТРАН IV включен в состав системы математического обеспечения ЭВМ Единой системы (ЕС ЭВМ). Массовость применения ФОРТРАНа объясняется такими его достоинствами, как: простота и легкость изучения, близость записи арифметических выражений и логических условий к принятым в обычной математической записи, удобство и достаточная простота опи-

сания процедур ввода-вывода информации и др. Несмотря на широкое распространение языка, ФОРТРАН нельзя применять на любых ЭВМ без учета их особенностей. Поэтому ФОРТРАН относят обычно к наиболее низкому уровню проблемно-ориентированных языков. Однако повышение уровня языка ФОРТРАН считается нецелесообразным, так как это неизбежно приведет к нарушению основного принципа его построения — простоты описания алгоритмов.

АЛГОЛ является проблемно-ориентированным языком более высокого уровня и поэтому более сложным по сравнению с ФОРТРАНом. Он предназначен для описания вычислительных алгоритмов. Одно из основных достоинств АЛГОЛа заключается в блочной структуре программы, которая позволяет обеспечивать экономию памяти при ее реализации. Однако стремление разработчиков сделать язык абсолютно независимым от ЭВМ привело к необходимости отказаться от операторов описания процедур ввода-вывода информации, что является существенным недостатком языка. Благодаря достаточно широким возможностям и богатству используемых изобразительных средств АЛГОЛ-60 получил довольно широкое распространение для программирования вычислительных задач.

Общими недостатками, характеризующими языки ФОРТРАН и АЛГОЛ-60, являются практическое отсутствие средств для описания структур массивов исходных данных, а также недостаточные возможности по организации банков данных и их поиску.

Свободным от этих недостатков является язык КОБОЛ (COBOL), первоначально используемый для решения экономических задач, а впоследствии получивший распространение при решении широкого класса задач, связанных с обработкой больших массивов исходных данных различного типа (числовые, буквенные, алфавитно-цифровые).

На базе языков АЛГОЛ-60, ФОРТРАН, КОБОЛ разработано большое количество проблемно-ориентированных языков, которые отличаются от базовых, как правило, более широким составом используемых операторов и изобразительных средств и оказываются лучше приспособленными для решения конкретных классов задач. Например, расширение языка АЛГОЛ-60 путем включения в него элементов КОБОЛа привело к созданию языка АЛГЭМ, который оказался достаточно эффективным при решении задач, связанных не только со структурной обработкой массивов данных, но и проведением сложной вычислительной обработки. Другим примером может служить язык АЛГАМС, созданный также на основе АЛГОЛа и используемый для алгоритмизации дискретно-непрерывных процессов управления.

Однако, несмотря на большое разнообразие проблемно-ориентированных языков, каждый из них эффективно применим только при решении определенного класса задач. В то же время в любой АСУ, в том числе и в АС УВД, преобладают задачи, в которых наряду с достаточно сложными математическими и логическими расчетами необходимо обеспечить работу в режимах, определяемых

технологией функционирования системы с устройствами ввода-вывода информации, включая, в частности, вывод данных на средства отображения информации, выдачу различного рода справочных и отчетных таблиц, ввод и первичную обработку данных от источников информации и т. д.

Программирование таких задач с использованием какого-либо только одного языка оказывается неэффективным из-за необходимости перевода алгоритмов, записанных на проблемно-ориентированных языках, на машинный язык.

Другой подход связывается с разработкой универсального языка программирования, обладающего достаточным составом изобразительных средств для представления автоматизируемых операций и описания данных, применяемых в функциональных задачах автоматизированной системы. Примером такого языка является ПЛ/1 (PL/1), который позволяет использовать различные типы данных практически любой структуры, обеспечивает запись алгоритмов вычислительных и логических задач, а также алгоритмов управления средствами отображения информации и другими периферийными устройствами ввода и регистрации, располагает средствами организации и структурной обработки больших массивов и другими изобразительными средствами, позволяющими формализовать запись большинства практически важных алгоритмов функциональных задач в АС УВД. Однако ПЛ/1 характеризуется повышенной сложностью по сравнению с другими языками программирования, что затрудняет его использование в качестве основного языка при алгоритмизации процессов УВД.

Для моделирования систем с дискретными событиями, к которым относится и система УВД, разработан ряд специализированных языков: ГСС (GPSS), СИМСКРИПТ, ЦСЛ (CSL), СОЛ (SOL), СИМУЛА [68, 69].

Общий анализ проблемно-ориентированных алгоритмических языков высокого уровня показывает, что они являются достаточно эффективным средством для алгоритмизации процессов и программирования функциональных задач, решаемых однократно в условиях, когда не предъявляется повышенных требований к эффективности их реализации. Однако в случае функционирования АС УВД, особенно в части непосредственного УВД, основу использования ЭВМ составляют алгоритмы и программы регулярного применения. Поэтому при их разработке следует ожидать более высокой эффективности применения машинно-ориентированных языков. Однако такая общая оценка применимости языков высокого уровня в определенной мере меняется для вычислительных машин Единой системы, так как некоторые из проблем, связанных с использованием таких языков, удается разрешить благодаря более высоким возможностям этих ЭВМ [63]. Для ЭВМ Единой системы могут разрабатываться так называемые оптимизирующие трансляторы, позволяющие создать на базе алгоритмов, описанных на языке высокого уровня, программы, приближающиеся по своей эффективности к программам, разработанным на автокодах. Кроме того, в состав

математического обеспечения ЕС ЭВМ включена специальная программа, позволяющая объединять в единую программу отдельные модули, разработанные на различных языках. Отмеченные возможности, безусловно, создают определенные предпосылки для широкого применения алгоритмических языков высокого уровня при автоматизации процессов УВД с использованием ЕС ЭВМ в АС УВД и тем самым способствуют решению ряда важнейших проблем алгоритмизации процессов УВД.

**Контрольные вопросы**

1. Для какой цели используются языки программирования?
2. Дайте общую характеристику машинно-ориентированных языков программирования. Назовите их достоинства и недостатки.
3. Дайте общую характеристику проблемно-ориентированных языков программирования.
4. Назовите наиболее распространенные языки программирования. Дайте краткую характеристику языков и области их применения.
5. Какие факторы оказывают наибольшее влияние на эффективность реализации алгоритмов? Рассмотрите особенности использования проблемно-ориентированных языков и пути повышения эффективности алгоритмов.
6. Назовите языки моделирования систем с дискретными событиями.
7. Чем характеризуются возможности применения проблемно-ориентированных алгоритмических языков при использовании ЕС ЭВМ в АС УВД?

## 3.3. Особенности алгоритмизации процессов УВД

Затронутые общие вопросы использования алгоритмических языков и их применимости для решения задач определенных классов не отражают в достаточной мере специфику алгоритмизации процессов УВД. Объясняется это значительной общностью подходов к решению проблемы выбора языков алгоритмизации для описания процессов различной природы. Поэтому, рассматривая алгоритмизацию процессов УВД на уровне отдельных функциональных задач, не удается вскрыть какие-либо особенности, так как всегда проблему разработки алгоритма можно решать одновременно для большого класса задач, объединяемых единством моделей и используемых математических методов. Обычно оказывается затруднительным решить вопрос об ориентации разрабатываемого алгоритма в проблемную или методическую сторону. Без учета специфики и потребностей в решении отдельных функциональных задач в процессе функционирования АС УВД может быть не обеспечена адекватность выбранного метода решения функциональной задачи ее назначению. Так может оказаться, что для решения различных задач с одинаковыми математическими моделями целесообразно использовать различные методы, которые позволяют максимально учесть специфику структуры модели, характер используемой информации с целью наилучшего удовлетворения общесистемных целей и требований к качеству функционирования системы. В таких случаях говорят о необходимости проблемной ориентации разрабатываемых алгоритмов.

Если со стороны технологического процесса не предъявляются жесткие требования к решению отдельных задач, то для упрощения алгоритмизации процессов оказывается возможной разработка общего алгоритма для решения некоторой совокупности функциональных задач, относящихся к одному классу. При этом используется один и тот же метод для решения всех задач, поэтому здесь можно говорить о методической ориентации алгоритма.

Правильное решение вопросов соотношения проблемной и методической ориентации алгоритмов может быть осуществлено только при комплексном подходе к проблеме алгоритмизации, предполагающем решение ряда частных проблем, которые объединяются в функциональные, структурные, технологические и эксплуатационные группы [67]. Проблемы технологии разработки алгоритмов по своему содержанию и составу задач, используемым методам и подходам характеризуются общностью применительно практически ко всем автоматизированным системам. То же самое относится и к проблеме эксплуатации алгоритмов. Наиболее специфичными для АС УВД оказываются первые две группы проблем. Возникающие здесь особенности обусловлены в основном характером работы вычислительных систем, используемых в АС УВД, а также характером управляемого процесса. Эти особенности определяются, в частности, типами функциональных задач и требованиями, предъявляемыми к их решению. Типы задач, решаемых в АС УВД, во многом характерны и для других автоматизированных систем [67]. К ним относятся задачи:

распределения ресурсов (организация УВД), распределение потоков (планирование воздушного движения) и другие, моделируемые в виде задач математического программирования;

прогнозирования изменения координатной информации по априорным данным о возможных характеристиках и результатах предыдущих летательных аппаратов (текущее планирование и непосредственное управление);

прогнозирование местоположения летательного аппарата, обнаружение тенденций к нарушению ограничений и возникновению конфликтных ситуаций;

обнаружения сигналов (идентификация летательных аппаратов);

принятия решений и распознавания образов;

обеспечения взаимодействия человека (диспетчера УВД и оператора) с машиной, включающие задачи обработки, отображения и регистрации информации, необходимой для принятия решений, задачи реализации решений и др.

При наличии множества общих черт, возникающих при решении проблемы алгоритмизации перечисленных задач, в автоматизированных системах для АС УВД характерны некоторые отличия, которые проявляются в различной степени в зависимости от необходимого уровня автоматизации процессов УВД, рассматриваемого этапа функционирования и других факторов, определяемых назна-

чением и технологическим процессом функционирования системы управления воздушным движением.

Рассмотрим особенности алгоритмизации, связанные с изменением характера применения ЭВМ в зависимости от уровня автоматизации процессов. Первые этапы использования ЭВМ в АС УВД, вообще говоря, не связаны с выполнением функций по управлению непосредственно процессами воздушного движения. Здесь возможно применение специализированной (или универсальной) ЭВМ информационного типа, основная функция которой состоит в централизации контроля многочисленных параметров управляемого процесса. Основные задачи такой ЭВМ состоят в сборе, накоплении, обработке и регистрации информации о постоянных и динамических характеристиках и параметрах летательных аппаратов, находящихся или поступающих в зону УВД на управление. Решение этих задач не оказывает прямого воздействия на процесс, хотя уже на этом этапе возникает одна из главных особенностей, заключающаяся в необходимости работы ЭВМ в реальном масштабе времени. Поэтому одной из основных проблем алгоритмизации процессов УВД для автоматизации является разработка алгоритмов, организующих решение функциональных задач в реальном масштабе времени, а также взаимодействие ЭВМ с устройством ввода и отображения информации.

Основные трудности разработки таких алгоритмов для АС УВД связываются с необходимостью учета ряда факторов, которые не присущи алгоритмизации многих процессов, проводимой с целью их моделирования на универсальных ЭВМ. К ним относятся необходимость: организации обработки информации о параллельно протекающих процессах движения совокупности летательных аппаратов с помощью последовательно работающей вычислительной системы; алгоритмизации отображения текущего состояния системы и ее структурных изменений, связанных с приемом на управление и окончанием обслуживания отдельных летательных аппаратов; возникновением различного рода событий (пересечение границы трассы, тенденция к опасному сближению и др.). При этом условия возникновения и исчезновения событий оказываются чрезвычайно сложными, а события характеризуются различным влиянием на общую эффективность управляемого процесса и тем самым различными приоритетами в их обслуживании. Перечисленные факторы обусловливают определенные требования к методам структурного построения системы алгоритмов функциональных задач и их реализации.

Одним из основных требований является организация приоритетного обслуживания событий. Это означает, что при возникновении события должен быть осуществлен анализ приоритета события и в зависимости от принятого алгоритма (дисциплины) обслуживания событий определен последующий порядок выполнения функциональных программ. Алгоритмизация систем с приоритетным обслуживанием обычно базируется на методах теории массового обслуживания. Ряд основных положений и методов алгоритмизации про-

цесса организации вычислений в реальном масштабе времени можно найти в специальной литературе [67—72].

Повышение уровня автоматизации процессов УВД изменяет характер использования ЭВМ в АС УВД, а расширение функциональных задач выдвигает и новые требования к алгоритмизации процессов. Наряду с изменением требований к быстродействию и объему памяти резко усложняются функции ЭВМ по управлению самими вычислительными процессами из-за необходимости решения большого числа разнородных задач, использующих информацию различного типа и характера. Эти обстоятельства, а также требования согласованного решения задач в порядке, обусловленном технологическим процессом реализации операций по подготовке и осуществлению УВД, накладывают определенные ограничения на распределение памяти и разделение времени в динамике решения задач. Кроме того, существуют различия в получении и реализации решений отдельных задач в АС УВД, определяемые такими характеристиками, как: периодичность расчетов новых вариантов решений; длительность решения задач; допустимое время задержки передачи, приема и начала обработки информации, а также выдачи и использования результатов решения и некоторые другие.

Такие различия особенно заметны при разграничении задач и функции по этапам организации, планирования и осуществления УВД. Так, периодичность решения задач организации УВД мала и не является регулярной. Здесь допустимы относительно большие задержки в решении задач и реализации их результатов, достигающие нескольких дней и более. Требования к длительности процессов обработки информации также могут быть ослабленными. При автоматизации процессов планирования воздушного движения периодичность решения задач определяется временем действия рассчитанных программ. Например, предварительный план полетов используется в течение суток, на которые он составлен, текущие планы полета отдельно взятого летательного аппарата могут пересчитываться в случаях обнаружения конфликтных ситуаций или при возникновении значительных отклонений летательных аппаратов от программной траектории, которые не могут быть устранены в процессе УВД. Время пересчета конфликтных текущих планов полета летательных аппаратов ограничивается минутами и даже секундами. При этом большие задержки в передаче результатов решений для их использования в подсистеме осуществления процессов УВД недопустимы.

Периодичность решения задач осуществления УВД определяется необходимым темпом выработки команд и рекомендаций по УВД и непосредственно зависит от сложности воздушной обстановки в текущий момент времени. В любом случае время решения этих задач не должно превышать некоторую величину, определяемую в общем случае из условий обеспечения своевременного принятия решения диспетчером УВД в конкретных условиях. Иными словами, ЭВМ в процессе УВД должна обеспечивать обработку информации и выработку решений в реальном и даже ускоренном масштабе

времени. Такие различия в периодичности и допустимой длительности решения задач не могут не сказаться на требованиях, предъявляемых как к тактико-техническим данным ЭВМ, используемым для автоматизации процессов УВД, так и к методам алгоритмизации различных процессов. Это приводит к целесообразности исследования вопросов алгоритмизации применительно к отдельным этапам функционирования системы УВД. Понятно при этом, что более низкие требования к реализации функциональных задач во времени на этапах организации и предварительного планирования воздушного движения позволяют снизить требования к эффективности как частных алгоритмов функциональных задач, так и алгоритмов организации вычислительного процесса. Здесь алгоритмизация процессов должна иметь преимущественно методическую ориентацию, а структура алгоритмов системы организации вычислительного процесса может быть простейшего типа. Такой является организующая (операционная) система, обеспечивающая последовательное решение функциональных задач.

В то же время алгоритмизация задач осуществления УВД и функционально тесно связанных с ними задач текущего планирования должна основываться на использовании организующих систем, обеспечивающих работу вычислительной системы в мультипрограммном режиме. Особенно сложной проблема алгоритмизации организующей системы является при автоматизации функций анализа состояния процессов УВД и выработки команд или рекомендаций по применению решений при УВД, когда ЭВМ работает в так называемом режиме советчика диспетчера. В этом режиме наиболее острой является проблема организации рационального взаимодействия человека-оператора (диспетчера) и ЭВМ. Организация вычислительного процесса на ЭВМ должна быть такой, чтобы у диспетчера не возникло чувства недоверия или разочарования от неоптимальных или несвоевременно выданных рекомендаций, так как это снижает вероятность бездефектной работы диспетчера и приводит к снижению пропускной способности системы УВД в целом.

В связи с этим одно из основных требований к организации вычислительного процесса в АС УВД состоит в минимизации «потерь» от несвоевременного решения функциональных задач системы. Эффективность решения этой задачи определяется тем, насколько полно учтены специфические особенности функционирования системы, пропускная способность диспетчера при принятии решения и передаче информации, временные характеристики циклов опроса летательных аппаратов, необходимый темп обновления отображаемой информации и др. Полный учет всех факторов наряду с учетом оптимально экстраполированных параметров системы на момент выдачи рекомендаций является необходимым условием синхронизации управляющего воздействия в системе ЭВМ — диспетчер УВД.

Другие особенности алгоритмизации процессов УВД связываются с необходимостью использования на определенном уровне автоматизации процессов УВД экстремальных решений (см. гл. 4).

Эти особенности обусловлены ограниченными возможностями ЦВМ для решения задач оптимизации и необходимостью для повышения интенсивности вычислительного процесса и обеспечения решения функциональных задач в реальном масштабе времени использования в АС УВД гибридных вычислительных комплексов [28].

Рассмотренные особенности алгоритмизации процессов УВД не исчерпывают полностью проблемы выявления специфики разработки алгоритмов при автоматизации процессов УВД. Некоторые из аспектов этой проблемы обсуждаются ниже при рассмотрении конкретных подходов и методов создания алгоритмической системы АС УВД.

**Контрольные вопросы**

1. Чем объясняется целесообразность проблемной и методической ориентации алгоритмов?
2. Дайте общую характеристику проблем, возникающих при определении соотношения проблемной и методической ориентации алгоритмов.
3. Назовите основные типы задач, характерные для АС УВД.
4. Раскройте основное содержание особенностей алгоритмизации, связанных с применением характера использования ЭВМ в зависимости от уровня автоматизации процессов.
5. Дайте характеристику отличий реализации алгоритмов организации, планирования и осуществления УВД в реальном масштабе времени.
6. Раскройте содержание особенностей алгоритмизации оптимальных процессов УВД.

# Глава 4

# ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УВД

## 4.1. Роль методов оптимизации при разработке алгоритмов решения задач УВД

Алгоритмизация процессов УВД характеризуется рядом моментов, среди которых одним из центральных является выбор метода или методов решения задач, составляющих смысл процессов УВД. Каким же должен быть метод решения, алгоритмизация которого позволит осуществить качественное решение задач процессов УВД? Как видно из анализа элементарных моделей процессов УВД, практически любая характерная для каждого из них задача формулируется в виде задачи оптимизации. Принимая во внимание характерную для методов оптимизации трудоемкость, необходимо проанализировать все обстоятельства, прежде чем рекомендовать их конкретное использование в качестве базовых для разработки алгоритмов автоматизации процессов УВД. Получив общее представление о процессах и этапах функционирования системы УВД, моделях основных операций, задач и процессов, можно более обоснованно подходить к выбору методов, на базе которых следует осу-

ществлять алгоритмизацию процессов УВД. При этом необходимо учитывать главные факторы и центральные вопросы, возникающие при функционировании системы УВД и службы движения. Одним из наиболее информативных источников таких факторов и может служить общий анализ основных характеристик операций, задач и процессов на различных этапах функционирования системы УВД.

Основные характеристики операций, задач и процессов можно рассматривать, основываясь на совокупности элементарных их моделей (см. гл. 1 и 2). Приведенные там модели операций, задач и процессов являются характерными для основных этапов организации, планирования и непосредственного управления воздушным движением. При этом можно отметить ряд общих черт, наиболее характерных как для совокупности приведенных моделей задач, так и для задач исследования процессов УВД, возникающих на какомлибо из этапов функционирования системы УВД. Главной общей их чертой является наличие цели протекания процесса, выражающейся в виде показателя эффективности для исследуемого процесса. При этом показатель может оказаться не единственным, так как преследуемые цели, либо требования к системе или характеру протекания процесса могут быть разного вида (надежностные, габаритные, стоимостные, точностные и др.). Показатели, формализующие эти цели (требования) в математической форме в этом случае также различны. Поэтому одной из основных проблем, возникающих при постановке задач исследования процесса для его улучшения (оптимизации), является проблема формулирования цели такого улучшения. Такая проблема может быть решена с помощью введения составного, например комплексного, показателя эффективности. В приведенных примерах такое положение возникало в нескольких задачах.

Другой чертой исследуемых моделей задач оптимизации является наличие совокупности ограничений, отражающих физическую природу процессов.

В приведенных выше примерах — это ограничения на величину допустимых сближений летательных аппаратов [2, 12], условия осуществления полного радиолокационного контроля, условие осуществимости управления (1.5) и др.

Для представления об ограничениях, встречающихся в задачах оптимизации, рассмотрим пример управления воздушным движением на предпосадочной траектории.

Осуществляя процесс управления, диспетчер обязан считаться с тем, что его команды реализуются с запаздыванием, что летательный аппарат имеет ограниченную мощность двигателей и определенные конкретные аэродинамические характеристики и, следовательно, может выполнять лишь определенные маневры, ограничивающиеся величиной мощности двигателей и аэродинамическими характеристиками. Благодаря инерционности скорость летательного аппарата и направление его движения могут изменяться лишь с ограниченными по величине ускорениями. Это означает невозможность мгновенного изменения величины скорости и направ-

ления движения в случае возникновения непредвиденной опасной ситуации и выражается в виде уравнений (1.5) и (2.5).

Аналогичные рассуждения свойственны любой задаче оптимизации и формализуются в виде уравнений либо неравенств, ограничивающих диапазон возможных значений количественных характеристик процесса. Задача определения оптимального решения вообще зачастую вырождается, становится тривиальной, если на характер процесса не наложено никаких ограничений. Так, проблема управления движением летательных аппаратов на предпосадочной траектории была бы существенно проще, если бы летательный аппарат мог мгновенно изменять свои параметры движения. Поэтому при решении задачи оптимизации процессов нельзя не считаться с тем, что изменение состояния процесса всегда подвержено различного рода ограничениям.

В общем случае задач оптимизации имеются два вида ограничений. Ограничениями первого вида являются сами законы природы (законы динамики полета в рассматриваемом примере), в соответствии с которыми происходит изменение состояния процесса движения летательного аппарата. При математической формулировке задачи эти ограничения представляются обычно алгебраическими, дифференциальными или разностными уравнениями процесса. Второй вид ограничений вызван ограниченностью физических параметров, которые в силу конструктивных либо других любых особенностей не могут или не должны превосходить некоторые пределы. В сформулированных ранее задачах (см. гл. 1 и 2) и при построении моделей процессов в приведенных примерах к ограничениям первого вида относятся уравнения (1.5), (2.5), (2.21), (2.37), ко второму виду — неравенства (1.6), (2.12), (2.14), (2.17), (2.20).

Совокупность ограничений позволяет обычно выделить из всего многообразия значений параметров процесса лишь допустимые, т. е. те, которые, реализуясь, удовлетворяют необходимым условиям. Это означает, что задача с ограничениями имеет не одно решение, а множество допустимых. Так, в задаче о перекрытии радиолокационным контролем заданного района РДС любое решение, удовлетворяющее условиям перекрытия, является допустимым. До развития теории исследования операций и оптимальных процессов в качестве решения обычно выбирали одно из допустимых. Тогда подобную задачу можно было бы ставить как задачу нахождения хотя бы одного из возможных допустимых решений. Однако если имеется множество решений какой-либо задачи, то необходимо из этого множества решений выбрать такое, которое является лучшим с точки зрения обоснованного показателя эффективности. В этом и состоит третья отличительная черта задач исследования и оптимизации процессов в системе УВД.

Задачу оптимизации процесса можно считать поставленной, если определена цель процесса УВД путем обоснованного выбора показателя эффективности, заданы ограничения первого вида, представляющие собой уравнения либо систему уравнений изменения состояния процесса, заданы ограничения второго вида, представля-

ющие собой систему алгебраических уравнений или неравенств, выражающих ограниченность физических параметров процесса. Совокупность условий задачи, состоящая из показателя эффективности и ограничений первого и второго вида, образует полную математическую модель процесса. В задачах исследования процессов может не оказаться ограничений первого вида либо ограничений второго вида. Последнее практически встречается крайне редко. Так, например, в задачах (2.11), (2.12), (2.18), (2.19) нет ограничений первого вида, а допустимые решения определяются лишь ограничениями второго вида.

Описанные выше характерные черты задач оптимизации позволяют достаточно четко провести грань между ними и любыми другими задачами исследования процессов. Место задач оптимизации процессов в общей совокупности возможных задач может быть определено более полно, если провести деление задач по числу заинтересованных и влияющих на процесс решения участников.

Если среди участников исследования процесса нет заинтересованных в достижении определенных целей (заданных, например, показателями) при изменении состояния процесса, то здесь не может идти речь об оптимизации. Это случай «обычной» задачи установления одного из допустимых решений либо обнаружения какой-либо объективно существующей закономерности. Если имеется один заинтересованный, влияющий на ход процесса участник и его заинтересованность выражена показателем эффективности, то здесь уже возникает оптимизационная задача. При числе участников два и более, интересы которых не совпадают, возникает конфликтная ситуация. Подобные задачи также относят к классу оптимизационных в условиях конфликта. Общие характерные черты задач позволяют объединить их при изучении методики исследования процессов в системе УВД. Исследование процессов в системе УВД на любом из этапов ее функционирования не ограничивается одним лишь решением поставленных задач оптимизации. Необходимо обеспечить получение более общих результатов, учитывающих взаимосвязь процессов на различных уровнях иерархической системы (см. рис. 1.11). Задав такую взаимосвязь с помощью ограничений, можно перейти к непосредственному исследованию задач оптимизации, включающих получение, анализ и корректировку решений и выявление общих направлений при улучшении (оптимизации) процесса. Таким образом, обобщенный алгоритм-схема исследований процессов в системе УВД предусматривает (рис. 4.1):

выявление основных характеристик процесса, установление важнейших факторов, влияющих на его протекание, выделение отдельных задач и их взаимосвязей в общем процессе и словесная постановка задачи оптимизации процесса;

построение возможно полной математической модели основных задач процесса;

обоснование цели исследования, формализация ее в виде показателя эффективности и формулировка каждой задачи оптимизации;

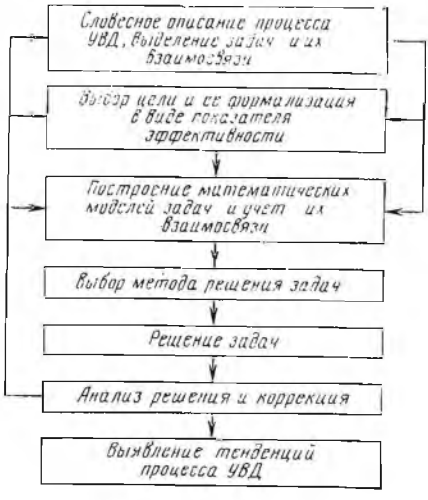



Рис. 4.1. Обобщенная схема исследования процессов УВД

выбор метода решения и решение задачи оптимизации;

анализ решения, сопоставление словесной постановки с математическим решением, анализ математической модели и учет изменений параметров, целей и внешних условий;

коррекция решения задачи с учетом анализа математической модели;

выявление общих тенденций в вариациях модели задач и всего процесса, а также в их решениях.

Столь развернутое исследование, а только такое и является удовлетворительным в настоящее время, требует использования выбранных средств, методов и принципов. Применительно к системам УВД при исследовании процессов в них такими средствами являются потоки информации в системе, позволяющие идентифицировать процессы. Методами служат методы динамики полета, теории управления и другие, позволяющие построить математическую модель процесса, а принцип состоит в использовании декомпозиции и оптимизационного подхода при исследовании. Поэтому математическую основу исследований процессов в системах УВД составляют методы оптимизации, образующие основу оптимизационного подхода, применяемые при решении задач с различными математическими моделями процессов в системах УВД.

Деятельность службы движения в системе УВД, как это видно из приведенных примеров задач, операций и процессов, решаемых ею на всех этапах функционирования системы, носит организационно-управленческий характер. Основным принципом, который должен применяться при этом в исследовании процессов в системе УВД, служит принцип декомпозиции и оптимизационный подход. Исследование должно проводиться обычно в соответствии с этапами обобщенной схемы исследований процессов УВД. Обоснование необходимости столь сложной схемы оптимизации процессов применительно к системам УВД вызвано повышением интенсивности полетов, увеличением скорости движения летательных аппаратов, расширением сети авиалиний. В связи с этим появились новые технические средства УВД, позволившие осуществить принцип «вижу — слышу — управляю» в практике УВД, были введены РДС и осуществлена реорганизация службы движения, приведшая к раздроблению зон управления и введению различных диспетчерских пунктов. При решении организационно-управленческих задач необ-

ходимо полное понимание взаимосвязи и взаимодействий отдельных подразделений.

Если учесть, что принятие не наилучших решений хотя бы в одном из подразделений в условиях значительной зоны УВД, т. е. крупного участка системы УВД (большой аэроузел либо РА с интенсивным движением), может принести существенный ущерб, то становится ясно, что при решении организационно-управленческих задач оказывается недопустимым базироваться только на личном опыте, интуиции и здравом смысле [97]. Необходим научный подход, позволяющий давать обоснованные решения в подавляющем большинстве случаев организационно-управленческих задач. В качестве одного из вариантов такого подхода можно рекомендовать использование обобщенной схемы исследования процессов в системе УВД, предложенной выше (см. рис. 4.1). Целью такого исследования является нахождение и научное обоснование решений, которые в обоснованном смысле являются наиболее выгодными, что формализуется в виде показателя эффективности.

Выбор способов получения решений относится к проблеме выбора методов оптимизации. Получение решения оптимизационной задачи является трудоемким и иногда длительным процессом, зависящим от вида используемого метода оптимизации. Поэтому выбор метода является ответственным этапом обобщенной схемы. Для грамотного осуществления процесса выбора следует представлять хотя бы общие характеристики основных существующих методов оптимизации. Это возможно при проведении классификации методов и кратком описании основных идей и структур, образующих главные детали центральной группы методов [28].

Разделение методов на классы можно начинать с деления их на непрямые — аналитические и прямые — алгоритмические методы (рис. 4.2). Непрямыми называют группу методов, в которых экстремум функции цели — показатель эффективности $J_{\Sigma}$ разыскивается не путем прямого расчета его значений в ряде точек, а с помо-

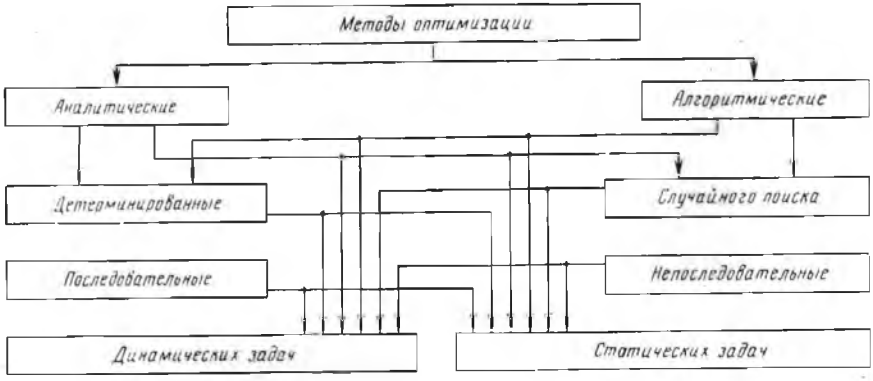



Рис. 4.2. Классификация методов оптимизации процессов УВД

щью специально построенных необходимых условий. Необходимые условия экстремальности часто позволяют записать ряд аналитических соотношений, решение которых и дает оптимальное значение вектора состояния процесса. В отличие от непрямых методов основу группы алгоритмических методов составляет не решение аналитических соотношений, а прямое вычисление и сравнение значений функции цели при двух или более значениях вектора состояния, принадлежащего допустимому множеству. При этом часто группы непрямых и алгоритмических методов, в свою очередь, разделяются по способам оптимизации самого процесса поиска экстремальной точки или определения и записи необходимых условий.

Преимущества и недостатки обеих групп методов связывают с тем, что непрямые методы позволяют с помощью одного выражения записать условие решений целой совокупности задач, тогда как алгоритмические методы дают решение одной задачи. Непрямые методы обладают более высокой точностью, так как необходимые условия экстремума в принципе дают абсолютно точное решение задачи. Ответ, записанный в аналитической форме, для своего конкретного определения требует численного решения. При этом сложность вычислений иногда не уступает сложности вычислений при использовании прямого (алгоритмического) метода решения. Это подтверждается сравнением методов решения динамических задач оптимизации.

К преимуществам алгоритмических методов относят способность их решать класс задач с недифференцируемыми функциями, образующими условия задачи. Кроме того, при использовании алгоритмических методов всегда получают несколько численных значений функции цели в непосредственной близости от точки экстремума, что позволяет определить поведение функции цели в окрестности экстремальной точки. Разделение методов можно вести и в соответствии с отношением математической модели задачи ко времени. Здесь методы можно разделить условно на статические и динамические. Условность деления объясняется тем, что часто динамические методы, такие, как динамическое программирование, вторгаются в область статических задач и наоборот — при записи динамической задачи в виде многошаговой можно использовать для ее решения статические методы, последовательно применяя их на отдельном шаге.

Методы можно разделить на регулярные (детерминированные) и случайного поиска экстремума. Детерминированными методами решения являются методы с определенной, жесткой системой действий, записанной в виде правил или алгоритма, т. е. точки, или траектории, на которых производится вычисление значений целевой функции, определяются по строгим правилам одного из алгоритмов данного метода на основе уже имеющихся вычислений. Это значит, что при одних и тех же начальных данных и достаточной точности вычислений решение задачи детерминированным методом будет одно и то же при нескольких испытаниях. Этого не наблюдается при использовании статистических методов (случайного поиска), осно-

ву которых составляет введение случайных шагов как при пробных, так и при рабочих вычислениях. Оба класса методов (регулярных и статистических), могут применяться для решения детерминированных и статистических задач.

Регулярные и статистические методы делят в соответствии со степенью использования информации предыдущих вычислений для определения дальнейших действий. Так, степень использования результатов предыдущих шагов — решений позволяет разделить методы на последовательные и непоследовательные. Непоследовательные методы характеризуются программой счета, заданной заранее до получения каких-либо результатов. Последовательные методы используют предыдущие результаты для определения последующих действий. При неограниченном продолжении процесса решения задач последовательные методы обеспечивают сколь угодно высокую точность в отличие от непоследовательных методов.

**Контрольные вопросы**

1. Какие соображения принимаются во внимание при обосновании выбора метода решения основных задач процесса УВД с целью алгоритмизации?
2. Приведите обоснование необходимости использования методов оптимизации при разработке алгоритмов решения задач УВД.
3. Какая основная проблема возникает при постановке задач оптимизации процессов в системе УВД?
4. Какие виды ограничений в общем случае накладываются на задачи оптимизации?
5. Дайте примеры ограничений первого и второго видов.
6. Какими математическими выражениями могут быть записаны ограничения первого и второго видов?
7. При каких условиях можно считать задачу оптимизации поставленной?
8. Перечислите пункты, которые охватывают обобщенный алгоритм исследований процессов в системе УВД.
9. Назовите средства, методы и принципы, используемые при исследовании процессов УВД.
10. Дайте обоснование целесообразности краткой классификации методов оптимизации.
11. Какие основные группы методов оптимизации следует разделять при рассмотрении вопроса их выбора.

## 4.2. Показатели эффективности процессов в системе УВД

Качество функционирования системы УВД определяется степенью полноты выполнения основной ее цели — наиболее эффективного использования воздушного пространства для осуществления регулярных и безопасных авиаперевозок. Эффективное выполнение этой цели взаимосвязано, в свою очередь, с качеством функционирования системы УВД на каждом из этапов. Так, качество функционирования ее на этапе непосредственного УВД определяется качеством работы технических устройств системы УВД, достигнутым при осуществлении процессов на этапах организации УВД, планирования и обеспечения полетов летательных аппаратов, а также качеством деятельности всех органов службы движения, экономической эффективностью системы, метеорологическими и другими

факторами функционирования. Для оценки качества функционирования системы УВД в целом применяется общий глобальный показатель эффективности функционирования всей системы УВД, который может быть представлен в виде составного показателя, объединяющего показатели эффективности, достигнутые на этапах планирования и обеспечения полётов летательных аппаратов:

$$J_{\Sigma} = J_{i}[J_{\text{УВД}},\ J_{\text{Ор}},\ J_{\text{Пл}}];\ J_{\text{УВД}} = J[J_{\text{т}},\ J_{\text{д}},\ J_{\text{эк}}, \ldots,\ J_{\text{м}}];$$

$$J_{\text{Д}} = J[J_{\text{Орг}},\ J_{\text{Пл}},\ J_{\text{Регл}}, \ldots,\ J_{\text{технол}}]. \qquad (4.1)$$

Проблема построения подобного показателя эффективности является достаточно сложной не только из-за сложной функциональной структуры каждого показателя отдельного этапа $J_s$ ($s$=Орг, УВД Пл), зависящего от значительного числа параметров системы, взаимосвязанных между собой, но также из-за отсутствия однозначного и безупречного способа свертки (объединения) показателей эффективности $J_s$ в единый показатель эффективности функционирования системы УВД. Подобный составной показатель является векторным, построенным в системе координат, образованной частными показателями эффективности каждого из этапов взятых в виде осей, на которых откладываются численные значения частных показателей — компонент.

Подобная аналогия из векторного анализа приводит к понятию направляющих косинусов углов между частными показателями и составным.

Направляющие косинусы такого суммарного вектора — составного показателя эффективности определяются величинами численных значений каждого из частных показателей, т. е. уровнем эффективности, достигнутым на каждом из этапов функционирования системы УВД и тем масштабом (т. е. значимостью), с которым суммируется каждый из них (рис. 4.3). Поэтому такие направляющие косинусы называют еще и коэффициентами веса $-\omega_{\nu}$ ($\nu = \overline{1, \mu}$). Они образуют матрицу направляющих косинусов в векторном показателе эффективности. Образование векторного показателя $J_{\Sigma}$ на базе показателей эффективности каждого из этапов функционирования системы УВД далеко не решает всей проблемы построения оценок эффективности, так как частные показатели $J^{(s)}$ являются также составными и взаимозависимыми. Они зависят от качества выполнения (осуществления) процессов на каждом этапе, которое, в свою очередь, зависит от качества решаемых на нем задач и выполняемых операций. Все это приводит к выводу о существовании иерархи-

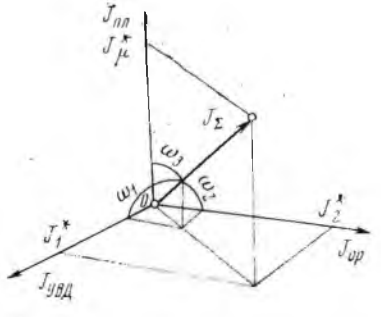



Рис. 4.3. Пространство частных показателей эффективности и векторный составной показатель

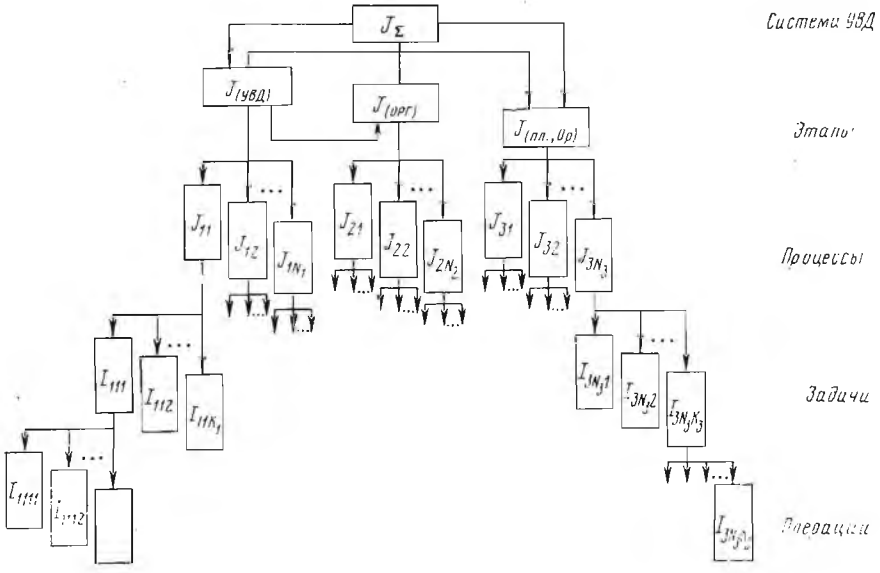



Рис. 4.4. Иерархическая система показателей эффективности

ческой системы показателей эффективности, каждый из уровней которой образуется векторным показателем (рис. 4.4).

Рассмотрим подробнее некоторые общие свойства показателей эффективности процессов в системе УВД и основные требования, выдвигаемые обычно к их выбору. Оценка эффективности процессов в системах УВД также может быть проведена с помощью введения количественной меры — показателя эффективности. Исследуемый процесс, связанный с любым этапом функционирования системы УВД, должен наилучшим образом соответствовать целям данного этапа, т. е. процесс должен быть в максимальной степени эффективным. В получении (построении) такого процесса и заключаются основные задачи оптимизации, формулируемые на уровне операций, задач, процессов либо самих этапов.

Мерой эффективности при этом является количественная характеристика, определяющая степень (качество) выполнения процессом своего основного назначения в общей цели данного этапа.

При большом разнообразии процессов, возникающих на различных этапах в системах УВД, трудно установить единую меру эффективности для любых процессов и системы в целом. Для различных процессов, которые свойственны различным этапам и существенно различны по своей физической природе, используют различные показатели и связанные с ними меры эффективности. Между тем при сравнении систем и отдельных процессов желательно иметь хотя бы единый подход к оценке их эффективности. Для выработки единого подхода к оценке эффективности необходимо рассмотреть перечень возможных способов оценки эффективности, сформу-

лировать общие требования к выбору показателей и общие их свойства.

Одним из признаков разделения применяющихся показателей при оценке эффективности является вид задачи, в которой используются показатели. Здесь можно различать два класса показателей.

Один из них связан с решением задачи выбора предпочтительного варианта (схемы движения, плана, технического устройства либо, наконец, структурно-организационного решения системы) из совокупности уже имеющихся. К другому классу относятся показатели, непосредственно участвующие в решении задач оптимизации процесса. Основной объединяющей оба класса показателей характеристикой является стремление к достижению возможно более широкого описания качеств процесса, что приводит обычно к необходимости учета в них множества противоречивых требований. Отличие обоих классов показателей обусловливается тем, что трудности решения задачи оптимизации процессов не позволяют большей частью выбирать в качестве показателей сложные, а значит, и более емкие по количеству учитываемых требований аналитические выражения. Показатели, используемые при решении задачи выбора варианта, могут иметь громоздкий вид, так как участие их в процессе решения ограничивается лишь вычислением значения такого показателя для каждого из сравниваемых вариантов.

Наиболее простым способом формирования показателей является способ сопоставления их требованиям, например, той части технического задания, которая непосредственно относится к данному (оцениваемому, оптимизируемому) процессу. Часто удается выписать ряд таких конкретных требований, выполнение которых определяет конкретное качество процессов. Записанные в аналитической форме эти требования становятся показателями эффективности частного вида. Конкретным примером таких показателей могут служить показатели, учитывающие пропускную способность зоны УВД, точность работы РТС УВД, величину потребляемой ими энергии, стоимость, характеристику переходного процесса в элементах и звеньях простейшего контура УВД и другие, взятые из технического задания требования для системы управления воздушным движением.

Однако бо́льшая часть задач оптимизации процессов имеет практический смысл лишь при учете совокупности показателей, т. е. носит явно выраженный многоцелевой характер.

В задачах оптимизации процессов одинаковой природы и назначения трудно указать одну наиболее предпочтительную цель, выражающуюся в виде функционала — показателя эффективности оптимизируемого процесса. Как правило, таких целей бывает несколько. Например, для блоков РЛС как одного из основных элементов — это точность формы выходного сигнала, избирательность по характеристикам входного сигнала, величина рассеиваемой энергии и др. Поэтому и вводятся составные показатели эффективности, охватывающие все либо бо́льшую часть требований техниче-

ского задания. Такие показатели имеют более сложный вид, чем входящие в их состав частные.

Одна из главных трудностей, возникающих при формировании и описании общих требований к показателям, определяется тем, что прикладная теория оптимальных процессов позволяет искать решение в виде наилучших управлений и параметров лишь в смысле какого-либо одного показателя эффективности [3, 8—10]. Более того, в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации одни из качеств, определяемые показателями, становятся менее важными, другие — более важными, т. е., кроме неединственности целей, наблюдается еще и их нестабильность [16, 28]. Другим затруднением, возникающим при формулировке задач оптимизации, является трудность выбора аналитической формы выражения цели, т. е. вида показателя эффективности, который должен достаточно полно отражать преследуемую цель и быть возможно более простым. Это требование относится особенно к составным показателям. Все сказанное позволяет считать вопрос выбора и обоснования показателя эффективности в задачах оптимизации процессов в системах УВД, значит, и при их автоматизации одним из важнейших и сложных вопросов.

Обычно на практике при выборе показателей формируют сначала основной перечень требований, выдвигаемых к качествам процесса. При формировании такой совокупности требований следует стремиться к тому, чтобы наиболее полно представить качества процесса с самых существенных его сторон и чтобы число таких требований в совокупности было возможно меньшим.

Выбор или назначение совокупности частных показателей чаще всего осуществляется в соответствии со следующими положениями: показатель совокупности должен отражать определенный физический смысл и чаще всего иметь количественный характер; совокупность частных показателей должна быть полной, т. е. достаточно полно характеризовать качество процессов в системе либо всю систему УВД в целом; качество процессов либо системы должно быть критичным по отношению к показателям совокупности. Составлением совокупности частных показателей вопрос выбора показателя не решается, поэтому возникает необходимость объединения их, так как решение задачи оценки, сравнения и оптимизации возможно лишь при четком определении понятия оптимальности, т. е. при формализации его в виде единого показателя эффективности. Такой показатель чаще всего является составным, включающим совокупность частных показателей.

Пусть совокупность частных показателей эффективности состоит из конечного множества $M$ показателей:

$$M\{I_\nu\},\ (\nu=\overline{1,\ \mu}),$$

где $I_\nu$ — обозначение $\nu$-го частного показателя из совокупности $\mu$.

Составные показатели должны зависеть либо от всего множества основных требований — характеристик процесса, либо от главной его части и объективно отражать степень близости процесса к

оптимальному. Тогда процедура формирования составных показателей должна заключаться в выборе функционалов вида (4.2) либо в общем случае составных показателей эффективности процессов:

$$J_\Sigma = F(I_1, I_2, \ldots, I_k) \ (k \leqslant \mu). \tag{4.2}$$

Здесь, с одной стороны, необходимо учитывать по возможности все частные показатели $I_\nu$ из множества $M$ и, с другой, выражения (4.1), (4.2) должны быть наиболее простыми. Основные трудности при этом состоят в выборе функции $F$ в функционале (4.2), а также учете значимости отдельных частных показателей и изменения ее со временем. Способы преодоления этих трудностей различны и часто состоят в едином их решении путем указания лишь вида функции $F$. Учет размерности производится чаще всего путем нормирования, т. е. путем деления $I_\nu$ на наибольшие возможные их значения. Вопросы ранжирования, т. е. оценки значимости отдельных частных показателей с помощью коэффициентов веса, также не являются элементарными и требуют подробного изложения.

Способ выбора функции $F$ разделяет наиболее широко известные способы построения составного показателя на комплексные и обобщенные. Комплексные показатели объединяют совокупность частных показателей из множества $M$ (полностью или частично), не искажая смысла и общей структуры их построения. Обобщенные же показатели формируются чаще всего путем установления зависимостей между отдельными частными показателями из множества $M$ исходя из свойств процессов в системе. Обобщенные показатели в отличие от комплексных обычно не сохраняют структуру и строение частных показателей и являются, как правило, нелинейными относительно характеристик векторов состояния $Q$.

Часто в качестве функции $F$ в обобщенных показателях используются произведения, частные от деления показателей или функций от них. Задача с показателями такого вида без дополнительных ограничений не может считаться поставленной, так как частные показатели противоречивы и принципиально нельзя указать решения оптимального одновременно в нескольких смыслах. Отрицательным свойством обобщенных показателей эффективности является большое взаимное влияние частных показателей $I_\nu$ друг на друга. Например, при равенстве одного из них нулю в функционале $J_\nu$, для которого функция $F$ определена как произведение или частное от деления показателей $I_\nu$, обобщенный показатель становится неопределенным [28, 31, 34, 53]. Попытки избежать неопределенности путем введения в числитель или знаменатель частных показателей, не имеющих нулевых значений (стоимость, затраченная энергия и т. п.), вряд ли можно считать приемлемыми. Исключения возможных парадоксальных выводов можно избежать с помощью введения ограничительных условий, получаемых из некоторой части показателей $I_\nu$ множества $M$ при задании их предельно допустимых значений $I'_\nu$. В этом случае для максимизации показателя $I_\nu$ допу-

стимым вариантом процесса считается такой, для которого справедливо неравенство

$$I_\nu \geqslant I_\nu^* \quad (\nu=\overline{1,\ \mu}). \tag{4.3}$$

Процессы, для которых это условие не выполняется, должны быть исключены из рассмотрения. Такой путь открывает целый ряд возможностей для формирования комплексных, обобщенных и комбинированных показателей, реализующих один из вариантов приближенной оценки векторного составного показателя эффективности процесса.

Среди способов учета многоцелевого характера задач оптимизации процессов в системе УВД следует отметить: назначение главного показателя из совокупности частных; построение комбинированных показателей, обобщающих главный; формирование комплексного, показателя эффективности процесса и целый ряд других [28, 53].

В способе главного показателя среди множества $M$ частных показателей $I_\nu$ выделяется наиболее существенный. Для остальных $\mu-1$ частных показателей выдаются предельные значения, ниже или выше (в зависимости от физического смысла) которых показатели $I_\nu$ не должны быть. Затем ищут решения, допустимые в смысле $(\mu-1)$-го частного показателя, которые образуют наряду с уравнениями и неравенствами, характеризующими состояние процесса, ограничительные условия, среди которых определяется оптимальное в смысле выделенного главного показателя [28, 53]. Наиболее существенным моментом при использовании этого способа является выделение главного показателя из множества $M$.

Другим способом учета многоцелевого характера задач оптимизации является использование результатов решения обратной задачи теории оптимальных процессов для формирования показателя эффективности [23, 29]. При этом решается задача о выборе единого квадратичного показателя, для которого является оптимальным управление, построенное с помощью комбинации управлений оптимальных на различных участках фазовой траектории процесса по различным показателям. Такой способ наиболее результативен при наличии эталонных моделей процессов либо процессов, которые могут быть приняты за эталонные, например при попытках моделирования деятельности опытных диспетчеров высокой квалификации в процессе непосредственного УВД.

Способ комбинированного управления также позволяет в какой-то степени решать проблему оптимального синтеза параметров при наличии нескольких показателей эффективности. Наиболее удачными можно считать примеры использования способа комбинированного управления при синтезе управления динамическими процессами в системе УВД. Комбинированные управления строятся исходя из того, что для многих показателей эффективности в процессах, описываемых линейными системами дифференциальных уравнений (движение самолета в боковой плоскости или угловое по кре-

ну и рысканию и др.), структура оптимального управления определяется выражениями:

$$u=\begin{cases} u_* \operatorname{sign}\varphi(X) & \text{при} \quad |\varphi(X)| \geqslant u_*; \\ \varphi(X) & \text{при} \quad |\varphi(X)| < u_*, \end{cases} \tag{4.4}$$

где $X$ — вектор переменных параметров, определяющих состояние процесса; $u_*$ — значение ограничений на управления; $\varphi(X)$ — релейное управление, оптимальное при использовании интегральных неквадратичных показателей (типа быстродействия или с модульной мерой), или непрерывное оптимальное управление для квадратичного показателя

$$\varphi(X)=u_* \operatorname{sign}\left[\sum_{l=1}^{n} K_l^s x_l\right] \text{ или } \varphi(X)=\sum_{l=1}^{n}\left[K_l^{(s)} x_l\right].$$

Исходя из единства структуры управлений в выражениях (4.4) можно предложить комбинированные управления, в которых значения коэффициентов $K^{(s)}$ в функции $\varphi(X)$ изменяются на фазовой траектории в зависимости от времени управляемого изменения состояния процесса (движения самолета) или в зависимости от области фазового пространства, в котором в данный момент находится вектор состояния процесса. Таким образом, управление является «кусочно-оптимальным» на каждом новом участке фазовой траектории по отношению к новому показателю $I_\nu$ из совокупности частных показателей множества $M$. Так как изменение состояния процесса в целом при таком комбинированном управлении не будет отвечать требованиям оптимальности в смысле одного частного показателя, то комбинированные управления называют иногда рациональными, понимая при этом, что часто существует и единый показатель в виде комплексного $J_\Sigma$, найденного, например, из решения обратной задачи [23].

Обобщенным способом, использующим комбинации показателей и ряда других способов, является также способ, основывающийся на обоснованном введении комплексного показателя эффективности $J_\Sigma$, [28, 53]. Если в функционале (4.4) функция $F$ выбрана в виде взвешенной суммы совокупности частных показателей $I_\nu$, то комплексный показатель $J_\Sigma$ в этом случае эквивалентен комбинации совокупности частных показателей $I_\nu$ $(\nu=\overline{1,\mu})$, используемых по очереди в зависимости от времени или от состояния процесса $X$

$$J_\Sigma=\sum_{\nu=1}^{\mu}\omega_\nu I_\nu, \tag{4.5}$$

где $\omega_\nu$ — кусочно-постоянные весовые коэффициенты со значениями ноль и единица.

Использование в комплексном показателе $J_\Sigma$ зависимости коэффициентов $\omega_\nu$ от времени или от фазовых координат $X$ (состояния процесса) позволяет синтезировать управляющие параметры, оптимальные в более широком смысле, чем при обычном подходе, и ис-

пользовать разработанные методы теории оптимальных процессов для решения многоцелевых задач. Простейшим примером такого синтеза является система стабилизации процесса, оптимальная по быстродействию при больших отклонениях $x_s(t)$ и оптимальная по точности (но уже не по быстродействию) при малых $x_s(t)$, т. е. при $|x_s(t)| \leqslant x_s^*$. Решения в этих случаях определяются как видом функционалов частных показателей $I_\nu$ из множества $M$, так и значениями весовых коэффициентов $\omega_\nu = \omega_\nu[x(t)]$.

Распространенным видом показателей являются интегральные функционалы. Такие основные качества, учитываемые обычно при синтезе динамических систем, как быстродействие, точность, энергопотребляемость, динамическая и статическая устойчивости, надежность, простота, степень гладкости, монотонность траекторий переходных процессов и т. д., могут быть определены с помощью интегральных функционалов. Динамические процессы с устойчивым оптимальным в заданном смысле состоянием имеют функцию Ляпунова. Следовательно, для любого из названных качеств может быть найден квадратичный функционал. Тогда справедливы преобразования:

$$I_\nu = \int_{t_0}^{T} t_\nu[x(t)]\,dt = \int_{t_0}^{T} [W_\nu(x) + k_\nu u^2]\,dt;$$

$$J_\Sigma = \sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_\nu(x)\, I_\nu(x) = \sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_\nu(x) \int_{t_0}^{T} [W_\nu(x) + k_\nu u^2]\,dt, \qquad (4.6)$$

где $W_\nu(x)$ — квадратичная форма отклонений процесса;

$$W_\nu(x) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} m_{ij} x_i x_j.$$

Если найти $\psi_\nu(x)$ из уравнения

$$\int_{t_0}^{T} \psi_\nu(x)\,dt = \omega_\nu(x) \int_{t_0}^{T} f_\nu(x)\,dt, \quad (\nu = \overline{1,\ \mu}),$$

то комплексный функционал в этом случае имеет вид

$$J_\Sigma = \int_{t_0}^{T} \left[ \sum_{\nu=1}^{\mu} \psi_\nu(x) \right] dt. \qquad (4.7)$$

Управления и параметры процесса, обеспечивающие экстремум такого комплексного показателя эффективности, являются, таким образом, согласно выражениям (4.5), (4.6), (4.7) функциями фазовых координат (вектора состояния), постоянных, входящих в функционал, и весовых коэффициентов:

$$u = u[x,\ k,\ m,\ \omega(x)];$$

$$P = P[x,\ k,\ m,\ \omega(x)], \qquad (4.8)$$

где $m$ — постоянные квадратичной формы $W(x)$.

Коэффициенты $\omega_\nu(x)$ в комплексном показателе эффективности могут учитывать «распределение» важности между частными показателями $I_\nu$ и нестабильность требований. Такой многогранный характер коэффициентов $\omega_\nu(x)$ приводит к выводу о том, что трудность формулирования и решения задачи векторной оптимизации при наличии более одного показателя в случае использования комплексного показателя переносится на процедуру выбора весовых коэффициентов $\omega_\nu$.

После того, как выбрана функция $F$ в выражении для составного показателя эффективности (4.2), например, в виде взвешенной суммы частных показателей $I_\nu$ в (4.5), необходимо произвести учет приоритета или степени важности каждого из входящих в составной показатель $J_\Sigma$ частного показателя $I_\nu$. Обычно это осуществляется путем введения вектора $\omega=(\omega_1, ..., \omega_\nu)$, компоненты которого $\omega_\nu$ являются коэффициентами веса и осуществляют распределение важности отдельных частных показателей $I_\nu$ в общем составном $J_\Sigma$. Если ввести зависимость $\omega_\nu=\omega_\nu(t)$ либо $\omega_\nu=\omega_\nu(x)$ то решение задачи оптимизации определяет управление и параметры процесса, оптимальные в более широком смысле и учитывающие, например, изменение важности отдельных показателей в зависимости от времени или состояния процесса. Для уточнения понятия оптимальности иногда используют свободу выбора $\omega$. Решая в этом случае задачу оптимизации несколько раз, на каждой итерации вносят изменения $\Delta\omega$, получая каждый раз новые значения $J_\Sigma$ и $\{u^*(\omega), P^*(\omega)\}$. Если такие итерации допустимы, то можно указать желательную тенденцию для изменения $\omega$ (т. е. величину и знак $\Delta\omega=(\Delta\omega_1, ..., \Delta\omega_\mu)$.

Такая адаптация (приспособление) $\omega$ цели оптимизации возможна лишь для сравнительно простых задач оптимизации, когда решение их, т. е. проведение одной итерации, и последующий анализ результатов не вызывают больших затруднений.

Существует ряд способов обоснованного выбора коэффициентов веса $\omega$ для случая, когда проведение итераций нецелесообразно. К ним следует отнести такие способы: обработки результатов опроса специалистов; упорядочивания; основанные на формальной теории ценности и ряд других [16, 28, 31, 53]. Наибольшее распространение на практике получил способ опроса, обоснованность которого осуществлена в последнее время. Смысл способа выбора коэффициентов веса путем обработки результатов опроса специалистов состоит в следующем. Пусть $\mu$ — число частных показателей эффективности $I_\nu$, вес которых необходимо определить путем назначения компонент $\omega_\nu(\nu=1, \mu)$ вектора $\omega=(\omega_1, \ldots, \omega_\mu)$. Значения компонент получают путем обработки результатов опроса специалистов, число которых $n$. При этом ввиду различной подготовки и различия во взглядах каждый из специалистов имеет мнение, отличающееся относительно мнений других специалистов. Причем авторитетность этих мнений различна.

Поэтому предварительно названные специалистами компоненты $\omega_{si}$ нормируются

$$\bar{\omega}_{si} = \frac{\omega_{si}}{\sum_{j=1}^{n} \omega_{sj}}; \quad (s = \overline{1,\ \mu};\ i = \overline{1,\ n}) \tag{4.9}$$

и корректируются с учетом «веса» мнения $i$-го специалиста $c_i$

$$\omega_s = \sum_{i=1}^{n} c_i \omega_{si}. \tag{4.10}$$

Величины $c_i$ находят путем обработки результатов опроса тех же специалистов.

Пусть $a_{ij}$ — нормированная оценка весомости мнения $i$-го специалиста $j$-м специалистом, т. е.

$$a_{ij} = \frac{\bar{a}_{ij}}{\sum_{r=1}^{n} \bar{a}_{ir}}; \quad (i,\ j = \overline{1,\ n}) \tag{4.11}$$

При этом получают $a_{ij} \geqslant 0$ и $\sum_{i=1}^{n} a_{ij} = 1$. Тогда отыскание $c_i$ происходит при решении системы линейных уравнений при условии, что $\sum_{i=1}^{n} c_i = 1$:

$$c_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} c_j. \tag{4.12}$$

Особенность решения системы состоит в том, что определитель ее равен нулю, так как $\sum_{i=1}^{n} c_i = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} c_j = \sum_{j=1}^{n} c_j$.

Необходимыми условиями решения системы (4.12) является:

$$a_{ij} > 0 \text{ при } i \neq j \text{ и } a_{ij} \geqslant 0 \text{ при } i = j. \tag{4.13}$$

Коэффициенты $c_i$ можно приближенно определить как:

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{n}; \quad c_i \approx \frac{a_i}{\sum_{j=1}^{n} a_j}. \tag{4.14}$$

Накопившийся опыт применения способа опроса позволяет сделать вывод о том, что точность оценок усредненного квалифицированного специалиста-эксперта выше точности оценок, которые дают лучшие квалифицированные эксперты, а точность усредненной оценки неквалифицированных специалистов не меньше точности од-

ного квалифицированного эксперта. Кроме того, установлено наличие гистерезиса оценок при опросе «снизу вверх» по весомости показателей $I_\mu, \ldots, I_1$ по сравнению с оценками «сверху вниз» $I_1, \ldots, I_\mu$. Поэтому значение $\omega_{si}$ и $c_i$ получают как полусуммы обоих способов опроса. Учет этих факторов повышает точность оценок.

Другие известные способы в основном используются в случаях, требующих особого подхода. Существует еще несколько способов, которые могут оказаться полезными для определенных частных задач оптимизации. Это способ, когда коэффициенты веса $\omega_\nu$ выбираются в виде функций состояния $\omega_\nu(x)$, минимизирующих еще один, дополнительный $(\mu+1)$-й показатель, возникающий дополнительно либо не учтенный сразу. Действительно, если определить $(\mu+1)$-е качество процесса частным показателем функционалом

$$I_{\mu+1} = I_{\mu+1}(x,\ u,\ F), \tag{4.15}$$

то с учетом соотношений (4.8) задача выбора коэффициентов при прежних ограничениях будет заключаться в решении задачи

$$\min_{\omega_\nu} \left\{ I_{\mu+1}[x,\ k,\ m,\ \omega(x)] \Big/ \omega_\nu \geqslant 0;\ \sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_\nu = 1 \right\}.$$

Иногда наиболее важным является учет наихудшего из качества данного процесса. Тогда коэффициенты веса выбираются пропорциональными состоянию значения частного показателя от предельного его значения: $\omega_\nu \sim [I_\nu^* - I_\nu(x)]$.

Частным случаем такого способа является минимаксный (максиминный) подход. Можно предложить и способ выбора коэффициентов $\omega_\nu$ из условия

$$\min_{\omega_\nu} \left[ J_2(x,\ u,\ P) \Big/ \sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_\nu - 1 = 0;\quad \omega_\nu \geqslant 0 \right], \tag{4.16}$$

где комплексный показатель взят в виде функционала (4.15), а управления и параметры определяются из выражения (4.8). Существует игровой способ выбора коэффициентов $\omega_\nu$, когда частоты повторения, либо возникновения определенных ситуаций процесса, например участки фазовой траектории или режимы работы, можно представить в виде набора стратегий противника, а коэффициенты $\omega_\nu$ как частости использования того или иного показателя $I_\nu$ из множества $M$ показателей, рассматриваемых как стратегии оптимизации. В этом случае возникает матричная игра вида

$$\begin{array}{c} P_1 P_2 \ldots P_r \\ N_1 N_2 \ldots N_r \\ \omega_1 I_1\ a_{11}\ a_{12} \ldots a_{1r} \\ \omega_2 I_2\ a_{21}\ a_{22} \ldots a_{2r} \\ \cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots \\ \omega_\mu I_\mu a_{\mu 1}\ a_{\mu 2} \ldots a_{\mu r}, \end{array} \tag{4.17}$$

где $P_s$ — частости (вероятности) режимов работы либо частости возникновения различных условий протекания процесса в системе УВД; $N_s$ — номера режима; $\omega_\nu$ — выбираемые в результате решения игры частости использования «стратегий» — показателей $I_\nu$ ($\nu=1,\ \mu$); $a_{sl}$ — величина выигрыша;

$a_{sl} \cong \sum_{\substack{\nu=1 \\ \nu \neq s}}^{\mu} \frac{I_\nu(N_l)}{I_\nu^*}$; ; $s$ — номер показателя; $l$ — номер режима.

Решением игры является такой выбор совокупности $\omega_\nu$, при котором функция Лагранжа $L = \sum_{l=1}^{r} \sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_l a_{\nu l} P_l + \lambda_1 \left(1 - \sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_\nu\right) + \lambda_2 \times$

$\times \left(1 - \sum_{l=1}^{r} F_l\right)$ достигает экстремума.

Приведенные способы выбора весовых коэффициентов в комплексных показателях эффективности и способы формирования показателей, учитывающих многоцелевой характер задач позволяют связать инженерные проблемы оптимального синтеза процессов в системе УВД на различных этапах ее функционирования с теорией оптимальных процессов. Используя в каждом конкретном случае один из способов введения показателей (или их комбинацию), можно в дальнейшем рассматривать задачу оптимизации, сформулированную уже только с одним составным показателем эффективности. Именно такое предположение о процессе формирования или выбора показателя $J_s$ принято в дальнейшем, за исключением особо оговоренных случаев:

$$J_s = J_s(x,\ u,\ P), \tag{4.18}$$

где $s$ — указывает на принадлежность показателей множеству $M$ ($s=\overline{1,\ \mu}$) или на то, что показатель является составным, например комплексным $s=\Sigma$. Эти случаи наиболее часто употребляются, поэтому и выбраны в качестве обобщающих.

В задачах анализа и выбора предпочтительного варианта, или в задачах синтеза параметров системы УВД, т. е. оптимизации управлений $u$ и параметров $P$ нередки случаи, когда важность (весомость) одних качеств, определяемых частными показателями эффективности, изменяется во времени либо в зависимости от состояния процесса. С учетом этого в случае зависимости важности $\nu$-го качества от времени вместо коэффициента веса может быть задана функция

$$\omega_\nu = \omega_\nu(t). \tag{4.19}$$

В случае, когда важность $I_\nu$ зависит от состояния процесса, задается функция

$$\omega_\nu = \omega_\nu(x). \tag{4.20}$$

Иногда возникают и такие ситуации, когда важность отдельных качеств и изменение их во времени либо в пространстве состояния

процесса $X=(x_1, ..., x_n)'$, могут быть оценены любым из описанных выше способов лишь приближенно. Если в первом из названных случаев известен вид соотношений (4.19), то решение задачи оптимизации дает управление и параметры также в виде функций от времени. Аналогичным образом в случае зависимости коэффициентов веса от состояния процесса находится решение задачи оптимизации в виде значений управлений и параметров, являющихся функциями от состояния процесса. Примером таких управлений может служить соотношение (4.2). В случае же приближенности значений коэффициентов веса $\omega_\nu$ применяются подходы, связанные с введением параметричности составного, например комплексного, показателя эффективности. Целесообразность такого пути вызывается, например, желанием учитывать в составном показателе $I_\Sigma$ еще и степень достижимости оптимального состояния процесса по каждому из конкретных качеств $I_\nu$ либо ожидаемые затраты при оптимизации по каждому из них. Во всех этих случаях компоненты вектора $\omega=(\omega_1, ..., \omega_\mu)$ представляются в виде суммы «неизменной» части и приращения, учитывающего неопределенность или приближенный характер $\omega_\nu$.

Иногда вместо суммы используют произведения двух частей коэффициента веса, основной («неизменной») части и части, зависящей, например, от степени достижимости оптимального состояния по $I_\nu$. Основная часть коэффициентов веса при этом может быть выбрана любым из названных способов и нести в соответствии с этим свою смысловую нагрузку, т. е. учитывать, например, зависимость важных качеств вектора состояния процесса $X$. Этим и объясняется употребление кавычек в слове «неизменная». Примером таких компонентов вектора $\omega$ могут служить коэффициенты веса, взятые в виде соотношений:

$$\omega_\nu(x,\ I_\nu)=\omega_\nu(x,\ 1)\,\gamma(I_\nu), \tag{4.21}$$

где $\omega_\nu(x, 1)$ — «неизменная» часть, найденная, например, из выражения (4.4) или (4.10); $\gamma(I_\nu)$ — функция, учитывающая степень близости фактического состояния процесса к оптимальному по $\gamma$-у качеству. Вид ее может быть различным. Например, можно взять для случая максимизации следующее выражение

$$\gamma(I_\nu)=\frac{I_\nu^*-I_\nu(u,\ P)}{I_\nu^*-I_\nu^{(\min)}}, \tag{4.22}$$

где $I_\nu^*$ — оптимальное значение $I_\nu$; $I_\nu^{(\min)}$ — наименьшее возможное значение $\gamma$-го показателя эффективности; $I_\nu(u, P)$ — фактическое его значение при данных управлениях и параметрах процесса. Можно предложить и другие формы для записи $\gamma(I_\nu)$.

Если компоненты вектора $\omega$ выбраны в виде сумм двух частей, то вид их может быть следующим:

$$\omega_\nu(x,\ I_\nu)=\omega_\nu(x,\ 1)+\Delta\omega_\nu(I_\nu). \tag{4.23}$$

Взятые здесь коэффициенты веса $\omega_\nu$ используют не только для учета зависимости $\omega_\nu$ от степени близости процесса к оптимальному по $\nu$-му качеству. Приращение $\Delta\omega$ может нести и другую смысловую нагрузку. Например, может учитывать изменение мнения экспертов со временем или появившиеся возможности в выборе более предпочтительного перераспределения $\omega_\nu$. В последнем случае возникает задача параметрической оптимизации определенного вида, когда ищется еще и параметр, которым можно изменить состояние процесса, т. е. осуществлять выбор наряду с управлениями $u$, находящимися в правых частях уравнений, и параметров $P$ другой физической природы, стоящих, как правило, в коэффициентах уравнений состояния процесса. Задача оптимизации, сформулированная в общем виде в гл. 2, теперь дополняется еще одним видом параметров, учитывающих неопределенность коэффициентов веса $\omega_\nu$, допускающую их целенаправленное изменение. Один из вариантов формулировки задачи оптимизации в этом случае обобщает все предыдущие, если задать область допустимых состояний процесса $x(t)\in G_x$, управлений $u\in G_u$ и параметров $P\in G_p$, определяемых обычно уравнениями и неравенствами

$$\max_u \max_\rho \{J_\Sigma(x,\ u,\ P)/x\in G_x;\ u\in G_u;\ m\in G_P\}. \qquad (4.24)$$

Для описанного случая задачи параметрической оптимизации составной показатель $J_\Sigma$ можно представить, например, в виде комплексного показателя эффективности:

$$J_\Sigma = \sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_\nu I_\nu, \qquad (4.25)$$

где $\omega_\nu = \omega_\nu^{(0)} + \Delta\omega(P)$.

В данном конкретном случае задача параметрической оптимизации (4.24) при статических моделях процесса, задающих области $L_x$, $L_P$, повторяет формулировку общей параметрической задачи.

При исследовании ситуаций, когда $\omega_\nu$ является случайной величиной, распределенной по нормальному закону, со средним значением $\omega_\nu^{(0)}$ и матрицей вторых моментов, элементы которой равны $\{\sigma_{\nu s}\}$, комплексный показатель эффективности

$$J_\Sigma = \sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_\nu^{(0)} I_\nu - \sum_{\nu=1}^{\mu}\sum_{s=1}^{\mu} \sigma_{\nu s} I_\nu I_s. \qquad (4.26)$$

Пути учета изменений в оценках важности частных требований, отражающих изменения внешних условий протекания процессов, могут быть использованы в каждом конкретном случае задачи оптимизации процессов в системе УВД. Особую роль они играют в задаче выбора предпочтительного варианта, когда результат выбора желательно проверить на чувствительность к вариациям коэффициентов веса. Полученные результаты характеризуют общий подход к оценке эффективности процессов.

**Контрольные вопросы**

1. Чем вызвано разнообразие в показателях эффективности процессов УВД?

2. Укажите выражения для ряда частных показателей эффективности процессов, характерных на этапах организации, планирования и осуществления УВД.

3. Какие противоречивые требования учитывают при выборе совокупности частных показателей?

4. В чем состоит процедура формирования составного показателя эффективности?

5. Перечислите основные трудности, возникающие при введении составного показателя эффективности процессов.

6. Как учитываются различия в размерностях частных показателей эффективности?

7. Приведите конкретный пример процесса в системе УВД с совокупностью частных показателей.

8. Поясните основные идеи способа главного показателя.

9. Выпишите выражение для составного показателя эффективности в виде взвешенной суммы и поясните его физическую сущность.

10. Какие процессы характеризуются совокупностью частных показателей в виде интегральных функционалов? Приведите пример.

11. Дайте характеристику роли весовых коэффициентов в составном показателе эффективности.

12. Поясните сущность использования выбора $\omega_s$ для уточнения смысла оптимизационного решения.

13. В чем состоит смысл способа выбора $\omega_s$ путем обработки результатов опроса?

14. Приведите основные зависимости расчета значений $\omega_s$ при способе опроса в полном и приближенном их варианте.

15. Какие другие способы выбора $\omega_s$ вам известны?

16. Дайте пояснения основных направлений, связанных с учетом изменений $\omega_s$.

## 4.3. Оценки и показатели эффективности функционирования элементов простейшего контура УВД

Важнейшим условием обоснованного внедрения автоматизации процессов на этапе непосредственного УВД является возможность оценки качества протекания их в элементах, системах и линиях передачи информации и связи простейшего контура системы УВД, которые также можно рассматривать как отдельный его элемент. Оценка качества работы таких важнейших элементов и систем, как радиопереговорное устройство, радиолокационная система, включающая радиолокационную станцию, устройства первичной обработки и передачи данных, а также устройства вторичной обработки и отображения информации и, наконец, оценка деятельности диспетчера, неразрывно связаны с разработкой количественной меры оценок — показателей эффективности. При этом необходимо учитывать всю совокупность особенностей и требований, а также результатов, полученных при описании общих свойств показателей эффективности процессов в системе УВД.

Общие направления разработки показателей эффективности элементов простейшего контура системы УВД, важность эффектив-

ной работы которых на этапе непосредственного УВД трудно переоценить, включают в себя анализ показателей эффективности информационных систем, обоснованного выбора показателей эффективности информационного обеспечения простейшего контура системы УВД и определение путей разработки системы показателей деятельности диспетчера. Характерной особенностью современных и перспективных больших систем управления самой различной физической природы (и систем УВД в том числе) является наличие широко разветвленной сети каналов прямой связи, несущих информацию командного свойства, и каналов обратных связей, содержащих информацию о состоянии объектов управления. Практически все потоки информации в этих каналах необходимо подвергать обработке для использования их в процессе контроля воздушного движения и выработки и принятия решения при управлении. При этом возникает проблема установления функциональной взаимосвязи количественных характеристик потоков информации, как функций времени и параметров системы управления, и количественных характеристик, определяющих эффективность функционирования системы, а также степень обеспечения разного рода ограничений, например по безопасности движения при УВД.

Эта проблема приобретает первостепенное значение для любой системы управления процессом с ярко выраженным динамическим характером. Особую роль имеет она и для системы УВД, где значительная часть процессов может быть отнесена к динамическим. Многие из них могут носить квазистатический характер с математическими моделями в виде медленно меняющихся функций с неизбежным наличием совокупности различного рода внешних и внутренних случайных помех. Поэтому одним из первых показателей эффективности, определяющих качество работы информационной части системы, является количественная оценка, позволяющая судить о количестве информации, либо об интенсивности информационных потоков в каналах системы управления [73—79]. Она может служить информационной характеристикой большой системы управления, используемой для оценки максимального количества информации в каждом канале системы, объема требуемой памяти при ее обработке, необходимых пропускных способностей каналов системы и др. [73, 74].

Однако в оценках и показателях эффективности, оперирующих только количественной мерой информации в каналах связи, отсутствует несколько важных характеристик информационных потоков в системах управления вообще и в системах с динамическими процессами в особенности. Речь идет о характеристиках времени, в течение которого изменяется не только ценность информации, но и понятие ценности информации вообще [75, 76].

Вопросам оценки значимости информации в теории систем уделяется в последнее время значительное внимание. Однако практически во всех работах этого направления ценность информации определяется количественно в виде логарифмической меры, и связывается с целью использования информации для функционирова-

ния системы [73—79]. Многообразие целей использования преобразования (обработки) и передачи информации для обеспечения функционирования больших систем управления приводит к значительному многообразию и разнобою в трактовке понятия ценности информации.

Для ряда работ практического характера приняты свои показатели ценности информации, обоснование которых точно такое же, как и выбор и обоснование показателей эффективности при оптимизации процессов в теории оптимизации. Так, в подходе, предложенном А. А. Харкевичем, ценность информации количественно измеряется показателем в виде приращения вероятности достижения цели. Позднее в качестве показателя ценности информации была предложена количественная мера в виде функции от оценки близости к цели [76]. При этом предполагается известный алгоритм принятия решений, использующий оцениваемую информацию, и вводится функция штрафа в виде «суммы штрафов» за потери при получении информации. Ценность информации тогда может быть определена как степень уменьшения таких потерь.

Были предложены и другие оценки в виде изменения неопределенности при управлении, либо как изменение вероятности достижения цели. При этом повышение ценности информации соответствует повышению вероятности достижения цели. Практически в каждом из известных предложенных способов оценки ценности информации связываются с достаточно сложным выражением показателя. Одним из наиболее простых способов введения показателя ценности информации служит оценка, предложенная еще в 1925 г. Фишером [79].

Действительно, пусть задана плотность вероятности сигнала $x$: $f_1(x)$ и помехи $f_2(x)$. Если $H_i(i=1, 2)$ — гипотеза о том, что $x$ принадлежит множеству измерений сигнала при $i=1$ или помехи — $i=2$, то из теоремы Байеса следует

$$P(H_i/x)=\frac{P(H_i)\,f_i(x)}{P(H_1)\,f_1(x)+P(H_2)\,f_2(x)}, \quad (i=1,2), \qquad (4.27)$$

откуда

$$\log\frac{f_1(x)}{f_2(x)}=\log\frac{P(H_1/x)}{P(H_2/x)}-\log\frac{P(H_1)}{P(H_2)}, \qquad (4.28)$$

где $P(H_i)$ — априорная вероятность справедливости гипотезы $H_i$, а $P(H_i/x)$ — апостериорная. Правая часть уравнения (4.28) является разностью между логарифмами шансов в пользу гипотезы $H_1$ до и после наблюдения $x$.

Разность, которая может принимать значения больше и меньше нуля, можно рассматривать, как информацию, получаемую в результате измерения $x$, т. е. $\log\frac{f_1(x)}{f_2(x)}$ является мерой информации в точке для различения $H_1$ против $H_2$. Если учесть, что функция (4.28) монотонна, то она может быть использована, как показатель ценности информации при осуществлении информационной систе-

мой функций контроля или измерений в пространстве параметров $x_i$ $(i=\overline{1, n})$.

$$J=\sum_{i=1}^{n} I_i=\sum_{i=1}^{n}\left[\log\frac{P(H_1/x_i)}{P(H_2/x_i)}\right]-\log\frac{P(H_1)}{P(H_2)}\ [\lambda], \qquad (4.29)$$

или в непрерывном случае

$$J=\int\log\frac{P(H_1/x)}{P(H_2/x)}\,d\mu(x)-\log\frac{P(H_1)}{P(H_2)}, \qquad (4.30)$$

где $\mu(x)=\int f_1(x)\,d\lambda$ и $d\mu(x)=f_1(x)\,d\lambda(x)$ —

характеристики вероятностной меры.

Расхождение между распределениями $P^{(1)}$ и $P^{(2)}$ двух выборок:

$$X^{(1)}=(x_1^{(1)}, \ldots, x_n^{(1)}),\ \sum_{i=1}^{n} x_i^{(1)}=N_1$$

и

$$X^{(2)}=(x_1^{(2)}, \ldots, x_n^{(2)}),\ \sum_{i=1}^{n} x_i^{(2)}=N_2,$$

заданными в виде

$$P^{(1)}=(p_1^{(1)}, \ldots, p_n^{(1)}) \text{ и } P^{(2)}=(p_1^{(2)}, \ldots, p_n^{(2)}),$$

может быть оценено с помощью меры вида (4.29)

$$J_P=\sum_{i=1}^{n}(p_i^{(1)}-p_i^{(2)})\log\frac{p_i^{(1)}}{p_i^{(2)}} \qquad (4.31)$$

и может служить оценкой информационной меры расхождения. В непрерывном варианте для уравнений (4.28)—(4.30)

$$J_P=\int(f_1(x)-f_2(x))\log\frac{f_1(x)}{f_2(x)}\,d\lambda(x)=$$

$$=\int\log\frac{P(H_1/x)}{P(H_2/x)}\,d\mu_1(x)-\int\log\frac{P(H_1/x)}{P(H_2/x)}\,d\mu_2(x). \qquad (4.32)$$

Приведенные меры применимы лишь при оценке информации в инструментальных каналах. Следует, однако, помнить, что в больших системах управления и в системах УВД, в том числе в части каналов происходит голосовое управление. В этом случае ценность информации должна зависеть от многих факторов такого рода, как смысловая часть, эмоциональное содержание вида и тона передачи команды. Проблема ценности информации в этом случае не решена. Более того, высказываются определенные мнения о невозможности полного ее решения в будущем. Для устранения различий между инструментальными и голосовыми каналами вводится специфическая терминология, такая, как правила фразеологии радио-

обмена в УВД. Это направление связано с синтезом понятий и дальнейшим развитием специального языка голосового управления на пути обобщений, разработки концепций и полиморфизма, что смыкается в некотором роде с проблемами сжатия информации и оптимизации кодов.

Оценки характеристик времени, в течение которого ценность информации изменяется, связаны с понятием «старения» информации. Это происходит, например, в системах управления при задержках, запаздываниях при отображении динамических процессов в системе, принятии решения и выработке управляющих команд. Наличие запаздывания, т. е. использование стареющей информации в динамической системе управления, приводит к возникновению эффекта раскачки системы. Примером может служить влияние запаздывания на выдачу команд при активном заходе летательного аппарата на посадку по ПРЛ. Эффект старения информации в любом из каналов системы управления можно связать с невозможностью точного ее восстановления после задержки. Ошибки при этом являются случайными функциями времени. В этом случае наблюдается полная аналогия с процессом оценки качества прогнозирования значений информационных сообщений. Такие оценки наиболее часто используют среднеквадратическое отклонение

$$\delta^2(t_0+\tau)=M\{[F(x(t_0+\tau))-F(\widehat{x}(t_0+\tau))]^2\}, \qquad (4.33)$$

где $F(x(t_0+\tau))$ — функция от вектора состояния процесса;
$\widehat{x}(t_0+\tau)$ — оценка значения вектора состояния.

Мощность ошибки $\delta$ растет во времени $\tau$. В качестве характеристики старения информации (полученной, например, в результате измерений) может быть использована оценка качества прогноза, так как процесс старения информации можно замедлить, применяя наиболее эффективные методы прогнозирования. В этом случае для оценки старения применяется вероятность сохранения достоверности характеристик процесса к моменту $\tau$ [88, 89]. Сокращение достоверности произойдет при условии, что ошибка прогноза процесса $x(t_0)$ в момент $x(t_0+\tau)$ не превысит гарантированных оценок $\underline{\Delta x}$ и $\overline{\Delta x}$. Вероятность этого события и служит оценкой старения информации:

$$P_x(\tau)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}[\delta^{-2}(\tau)]^{1/2}}\int_{\underline{\Delta x}}^{\overline{\Delta x}} e^{-\frac{\delta^2}{2\delta^2}}\,d\delta, \qquad (4.34)$$

где $\delta^{-1}(\tau)$ — зависимость СКО прогноза от времени задержки $\tau$.

Вероятности $P_x(\tau)$ могут быть рассчитаны и представлены в виде кривых старения.

Вид кривых зависит от вероятностных свойств измеряемого процесса (спектральной плотности ошибок измерения, способа прогноза и т. д.). Таким образом, в системах управления, использующих стареющую информацию, всегда возникает конфликтная ситуация. С одной стороны, для увеличения помехозащищенности и повыше-

ния достоверности используют эффект избыточности, а с другой, это приводит к увеличению задержек при передаче и обработке информации, т. е. увеличивает старение. При этом с ростом $\tau$ наблюдаются две тенденции возрастания вероятности правильного принятия сигналов и в то же время понижается достоверность восстановленного сообщения [81]. Эффективность информационной части системы зависит от вероятности правильного приема сигналов $P_{\text{пр}}(\tau)$, которая возрастает с ростом $\tau$ и величиной $P_x(\tau)$:

$$J_{\text{эф}}(\tau) = P_{\text{пр}}(\tau)\, P_x(\tau). \tag{4.35}$$

Так возникает задача математического программирования о выборе наилучшего значения задержки $\tau$. Максимальное значение функции $J_{\text{эф}}(\tau^*)$ позволяет в ряде случаев однозначно определить оптимальное значение $\tau^*$, оптимизирующее эффективность информационной части системы управления.

Несмотря на широкий перечень показателей эффективности информационных систем нельзя, однако, утверждать, что они позволяют характеризовать все основные черты и стороны информационной системы как важнейшего элемента простейшего контура системы УВД и что с их помощью могут быть сформулированы задачи оптимизации параметров или задачи выбора наилучшего ее варианта.

Так, например, рассмотренные показатели не позволяют ответить на вопросы о требуемом числе и местах расположения точек измерений компонент вектора состояния процессов в системе УВД при контроле состояния ДВО. Применение их для этих целей может оказаться полезным, но не дает кратчайшего и простого пути для получения ответов.

Из проведенного анализа информационных потоков в простейшем контуре системы УВД следует вывод о значении такой характеристики каналов системы, как их пропускная способность. Если напряженные потоки информации между элементами «технического» вида в простейшем контуре существующих систем УВД могут быть обеспечены в основном за счет расширения пропускных способностей инструментальных каналов связи, то в перспективных системах наличие такого элемента, как искусственный спутник Земли (ИСЗ), делает данный выход проблематичным. Кроме того, в обеих видах систем существуют каналы связи диспетчера, увеличение напряженности которых невозможно из-за наличия физических ограничений по пропускной способности человека-оператора. Пропускная способность является одной из основных характеристик любых информационно-измерительных систем, которая определяет предельные возможности системы, реализуемые при бесконечном сдвиге по времени. Оценка предельных (оптимальных) возможностей системы всегда актуальна и построение перспективных систем без ее использования невозможно.

В многочисленных публикациях путем достаточно сложных преобразований показано, что пропускная способность, взятая как

показатель синтеза системы, определяется через формулу Шеннона [77]:

$$L = \int_{W} \log \frac{S_m(f)}{S_\varepsilon(f)}\, dt, \qquad (4.36)$$

где $S_m(f)$, $S_\varepsilon(f)$ — соответствующие плотности при произвольных гауссовых процессах сигнала и помехи.

Она полностью соответствует показателю синтеза оптимальной системы в виде минимума среднего квадрата случайной ошибки (СКО) без учета дополнительного условия физической реализуемости системы [82—84], т. е. СКО может применяться в качестве важнейшего показателя. При этом сравнительно просто будет определяться способность каналов связи системы (простейшего контура УВД), взятой в виде информационной системы с обратными связями и внутренними помехами. Для оценки числа и точек измерения процессов в простейшем контуре УВД лучшим показателем являются характеристики ковариационной матрицы, такие, как ее определитель, который в соответствии с результатами работ [56, 85] учитывает все элементы информационной матрицы Фишера и является произведением собственных чисел ковариационной матрицы и несет поэтому полную характеристику процесса. Минимизация значений такого определителя эквивалентна минимизации объема эллипсоида рассеивания оценок, т. е. минимизации обобщенной дисперсии оценок.

В качестве показателей информационной части простейшего контура системы УВД предлагается использовать СКО и определитель ковариационной матрицы, что позволяет в дальнейшем осуществлять оптимальный синтез систем с указанием наилучших численных значений целого ряда определяющих параметров простейшего контура перспективной системы УВД. Определение путей разработки показателей эффективной деятельности диспетчера как центрального простейшего контура системы УВД связано со значительными трудностями. Тем не менее существует неразрывная связь таких показателей с уровнем профессиональной подготовки диспетчера, которая, в свою очередь, определяется качеством тренажерной подготовки и позволяет дать ответ о степени профессиональной подготовленности диспетчера. Поэтому при определении путей разработки системы показателей, с помощью которых можно было бы осуществить такую оценку, следует прежде всего сопоставить, с одной стороны, главнейшие черты профессиональной подготовленности и, с другой — возможность количественно измерять качество их выполнения. Последнее возможно лишь в отношении определенных информативных элементов деятельности диспетчера, что позволяет определить пути подхода к разработке системы показателей эффективности выполнения ряда важнейших элементов деятельности.

Можно применить подход, в соответствии с которым система показателей должна следовать нарастающей сложности процесса тре-

нажерной подготовки диспетчера. Принцип данного подхода базируется на представлении процесса получения необходимого уровня профессиональной подготовленности в виде процесса возникновения в механизме памяти диспетчера устойчивой иерархической функциональной системы (ИФС), в которой поток навыков, направленный от периферии к центру, падает и остается на каком-то устойчивом положении. Число операций в одном уровне ИФС, а значит, и число операций, навыки по которым приобретаются при декомпозиции отдельного упражнения на операции, может быть определено из правила закрепления в памяти оператора следов новых раздражителей. Согласно ему закрепление тем сильнее, чем меньше по времени интервал между получением сигнала-раздражителя и достигнутым результатом. Наиболее мелкое доступное членение намеченных результатов и позволяет назвать рациональное их число. Таким образом может быть синтезирована ИФС каждой отдельной операции. Их объединение дает ИФС упражнения, затем ИФС задачи, ИФС этапа обучения и, наконец, глобальную ИФС всего профессионального обучения.

Итак, в тех случаях, когда могут быть выделены и оценены отдельные элементарные действия, операции, упражнения и т. д., наиболее рациональным процессом обучения и оценки соответственно является такой, при котором и обучение и оценка достигаемого при этом уровня будет начинаться с получения, закрепления и проверки навыков на самых низких уровнях. В этом и состоит основной принцип данного подхода к разработке систем показателей, в соответствии с которым такая система должна также привести к иерархической системе показателей (ИСП) при оценке профессиональных навыков.

Один из возможных вариантов ИСП строится по аналогии с ИСП всей системы УВД (см. рис. 4.4) и должен следовать ИФС процесса обучения (см. гл. 8) и включать четыре основных уровня иерархии. Если наряду с чисто формально функциональной направленностью показателей, когда число их определяется по числу операций, задач и т. д., рассматривать и смысловую их нагрузку, то можно выделить группы показателей, характеризующих выполнение диспетчером: простейших (элементарных) операций, принятия решений (обнаружение, различение), выработки решений (слежение, формулировка команд и др.), функциональных операций (подсчет, поиск справочных данных и др.), физико-моторных операций (работа с тангентой, клавишные операции и др.); составных операций, т. е. элементов упражнений и задач, требующих решения вопроса выбора последовательности действий, включающих перечисленные ранее различные по характеру элементарные операции; сложных функций, требующих умения объединять выбранные последовательности элементарных операций; сложных функций в особых случаях полета (при наличии стрессовых нагрузок на диспетчера).

При этом необходимо учитывать некоторые общие требования к показателям эффективности и ряд их особенностей, входящих в

ИСП, характерных для такого элемента, как человек-оператор в контуре управления.

Отражая общие свойства меры, любой из показателей должен быть адекватен качеству и той части профессиональной подготовки, отражением которой он служит. Кроме того, показатель должен быть измеримым, т. е. выражаться числом и позволять выполнять в дальнейшем функции по суммированию либо производить функциональный учет в совокупности с другими показателями на различных уровнях системы. Другим важнейшим требованием к показателю является простота его использования, т. е. должны предусматриваться достаточно простые способы его измерения или вычисления.

К общим требованиям относятся некоторые требования к способам формализации показателей эффективности деятельности диспетчера. Здесь возникает совокупность требований как к способу объединения частных показателей деятельности в единый составной, относящийся уже к более высокому уровню иерархии в ИСП, так и к функциональному их выражению, отражающему основные характеристики деятельности. Практика показывает, что независимо от смысловой нагрузки показателей и методов их объединения («свертки» — по Ю. Б. Гермейеру [53]) можно рекомендовать учет общих требований:

выбор функциональной зависимости каждого показателя деятельности должен осуществляться так, чтобы обеспечивалась его информативность по отношению к заданному ряду параметров оцениваемого процесса;

вид функциональной зависимости показателя должен быть таким, чтобы, с одной стороны, значения показателя были бы достаточно критичны к вариациям параметров оцениваемого процесса, а с другой — сама функциональная зависимость носила бы гладкий характер, т. е. относилась бы, например, к классу кривых $W^{(2)}$;

число частных показателей деятельности не должно быть слишком велико; многочисленные примеры оценок процессов различной физической природы позволяют рекомендовать множество из числа частных показателей от 3÷5 до 10÷15.

Из приближенного анализа множества общих требований возникает ряд вопросов, начиная от возможности построения ИСП, отвечающей им, и до целесообразности построения полной ИСП. В случае использования инженерных оценок «ручным способом» с обычной для этого случая точностью в 10—15% удается сравнить процессы в количественной мере лишь при числе частных показателей с сравнительно «хорошими» функциональными выражениями, число которых не превышает 5—7. Если же число их достигает 9—11, то речь может идти о ранжировании процессов, т. е. удается расположить их по мере убывания составного (комплексного) показателя эффективности. Отсюда вытекает вывод о целесообразности разработки двух вариантов ИСП, один из которых отражает в основном «предельные» возможности «ручного способа» и служит, таким образом, для приближенной, но зато и самой простой оцен-

ки качества процесса профессиональной подготовки, а другой, наиболее полный, применим лишь в случае машинной (с помощью ЭВМ) его реализации и позволяет получить максимально возможную информацию о качестве деятельности, а значит, и о качестве процесса профессиональной подготовки.

Перечисленные общие требования и свойства не являются элементарными. Совместить требования простоты измерения и адекватности удается далеко не всегда даже для элементарных операций. До сих пор пока еще не найден однозначный доказательный способ сравнения вариантов составных операций и оценки информативности показателей, нельзя говорить об априорном соответствии динамики их изменения функциональной природе оцениваемых навыков и т. д.

Кроме того, опыт, накопленный в теории исследования операций и оптимальных процессов, здесь оказывается не полностью пригодным. Это вызвано тем, что полученные результаты относились прежде всего к оценке процессов в технических устройствах, системах и комплексах. Оценка действий человека в системе управления всегда вызывала значительные трудности и требовала учета ряда специфических свойств, характерных для человека.

К общим направлениям разработки ИСП относятся: анализ и исследование общих характеристик человека-оператора; применение процедуры и подходов обратной задачи теории оптимальных процессов для построения показателей эффективности; использование некоторых общих результатов свертки частных показателей в составной и операций с ними.

Основные положения, учитываемые при разработке ИСП в системе УВД, состоят в следующем.

1. Поведение человека-оператора на самых различных уровнях деятельности (выполнение операций, упражнений, задач) не строго определено, а носит явно выраженный стохастический характер. Оценка в виде показателя эффективности в этом случае должна иметь вероятностный характер.

2. Процессы восприятия сигналов и принятия решений человеком-оператором достаточно сложны. Обнаруживаемые человеком-оператором сигналы существенно отличаются от физических их характеристик, так как и процесс обнаружения и процесс принятия решения оператором о наличии сигнала, его силе и форме происходит в субъективном сенсорном пространстве, находящемся в отношении гомоморфизма с объективным пространством сигналов.

3. Количественные характеристики человека-оператора, такие, как время реакции, точность действия, величина субъективной оценки сигнала и его значимости, зависят от параметров и вероятностных свойств сигнала, а также качества инструкций (регламента) и мотивации к данной конкретной деятельности.

4. Экспериментальные исследования по обучению и тренировке диспетчеров свидетельствуют о том, что в начальный момент процесса обучения принятия решения об обнаружении признака или сигнала осуществляется им на основании показателя типа фикса-

ции ложной тревоги (Неймана-Пирсона), а в последующие — на основании оценок, заложенных в методике тренажа.

Сказанное свидетельствует о том, что человек-оператор является звеном системы управления, имеющим сложные вероятностные характеристики и свойства адаптивности по отношению к процессу обучения. Отсюда очевидна вся ответственность и сложность в разработке ИСП и бесперспективность попыток механического переноса принципов и понятий, принятых при разработке оценок процессов в технических устройствах на разработку ИСП.

При использовании второго общего направления разработки ИСП, т. е. процедуры обратной задачи теории оптимальных процессов, основной смысл состоит в том, чтобы, найдя группу реальных диспетчеров, деятельность которых при УВД можно было бы принять за идеальную, путем обработки измерений их характеристик в процессе деятельности осуществить построение показателя, в смысле которого процесс их работы и был бы оптимальным.

В этом случае формализация показателя эффективности, т. е. оптимальности деятельности, в области экстремума которого работает диспетчер в процессе УВД возможна с помощью решения обратной задачи теории оптимальных процессов, суть которой состоит в установлении структуры и параметров показателя эффективности на основании известных достигнутых результатов решений задач УВД.

Такой подход к построению комплексного показателя эффективности для оценки деятельности диспетчера УВД при выбранном математическом аппарате формализации рассмотренных процедур может быть автоматизирован с помощью ЭВМ, включенной в контур системы УВД или тренажера, используемого в процессе обучения и повышения квалификации диспетчерского состава.

### Контрольные вопросы

1. Приведите обоснование важности разработки показателей эффективности информационной системы простейшего контура системы УВД и деятельности диспетчера.

2. Дайте пояснение общего смысла существующих показателей для оценки ценности информации в системах управления.

3. В чем состоят особенности голосового управления?

4. Приведите формулу показателя эффективности в виде среднеквадратичного отклонения.

5. Поясните взаимосвязь процессов прогнозирования и старения информации.

6. Перечислите основные принципы, которые необходимо положить в основу разработки показателей эффективности деятельности диспетчера.

7. Какие основные требования к показателям необходимо учитывать в случае оценок деятельности?

8. Приведите перечень основных направлений разработки иерархической системы показателей эффективности для оценки деятельности диспетчера.

9. В чем состоят характеристики человека-оператора в системе УВД, учитываемые при разработке ИСП?

С помощью алгоритмических методов образуются основные структуры алгоритмов математического обеспечения АС УВД. Еще несколько лет назад алгоритмические методы оптимизации применительно к задачам УВД не вызывали большого интереса. Такой подход был оправдан, так как большой объем вычислений, возникающий при использовании алгоритмических методов, не мог быть выполнен, ибо требуемое для вычислений время делало такие вычисления бессмысленными. Теперь с развитием ЭВМ и разработкой основ вычислительных систем и комплексов в условиях имеющегося опыта автоматизации во всех отраслях техники и при наличии острой потребности в облегчении труда диспетчера возникает необходимость и реальная возможность в автоматизации процесса в системах УВД. Так, автоматизация процессов получения и обработки информацией, процессов принятия решения и управления в системах УВД основывается на применении формальных методов анализа и синтеза. Формальные методы анализа и синтеза используют, как правило, алгоритмические методы решения, что делает целесообразным использование поиска вариантов методов и среди алгоритмических методов оптимизации. Таким образом, происходит органическое слияние формализаций с алгоритмическими методами оптимизации. Алгоритмические методы оптимизации в последнее время нашли самое широкое признание благодаря ряду их свойств. При решении сложной задачи любым из методов окончательный результат часто получают лишь при использовании алгоритмических методов. Задачи оптимизации процессов в системе УВД в большинстве случаев не могут быть отнесены к простым, поэтому их решение должно осуществляться алгоритмическими методами оптимизации либо комплексными методами, включающими алгоритмические в качестве подпрограмм.

К алгоритмическим относят методы, указывающие последовательность вычислений и логических операций, выполнение которых приводит к возникновению признака получения решения, т. е. алгоритмические методы не дают формульных зависимостей или условий решения задачи. Основой алгоритмических методов является поиск решения с помощью, например, рекурентного соотношения. В гибкости и универсальности заключается основное преимущество алгоритмических методов. Одним из существенных преимуществ алгоритмических методов является их способность к обучению. Действительно, начиная решение с использованием априорной информации, которая в силу различных помех теряет свою достоверность, алгоритмические методы позволяют накопить достаточно текущей информации, компенсирующей недостаточный объем априорной информации. Способность к адаптации, присущая ряду алгоритмических методов, выделяет их из всей совокупности методов решения задач оптимизации процессов. Адаптация возможна лишь при достаточно большом объеме вычислений. Таким образом, использова-

ние ЭВМ делает доступными те преимущества, которыми обладают алгоритмические методы.

ЭВМ, используемые в автоматизированных системах УВД, призваны справляться с обработкой больших количеств информации, характеризующей действительную ситуацию в системе и запланированную обстановку. Только в этом случае ЭВМ в АС УВД станет незаменимым помощником (а в ряде случаев и заменит) оператора-диспетчера при управлении воздушным движением. Для того чтобы ЭВМ полноценно можно было бы использовать для управления воздушным движением в АС УВД, должны быть разработаны и применены математические методы, позволяющие анализировать имеющиеся виды информации, отсеивать ненужную и выделять наиболее существенную часть ее, использовать выделенную информацию для оценки воздушной обстановки и сложившейся ситуации и выработки рекомендаций, обеспечивающих наиболее эффективное принятие решений и оптимальное управление воздушным движением.

На основании таких методов образуются алгоритмы и составляются программы для ЭВМ.

Обычно при оценке роли и перспектив применения ЭВМ в системе УВД в первую очередь выделяют автоматизацию процессов непосредственного осуществления УВД [11, 51]. Автоматизация процессов осуществления непосредственного УВД хотя и является обоснованным местом приложения вычислительной техники, но не может, однако, считаться главной и тем более единственной областью ее применения в системе УВД. На любом из этапов функционирования системы УВД возникает возможность алгоритмизации процессов, а значит, и целесообразность их моделирования с целью анализа и оптимизации. Требования высокого уровня безопасности полетов при учете их экономичности и регулярности входят в противоречие с нарастающими темпами развития авиаперевозок. Выполнение их при обязательном учете перечисленных требований возможно при внедрении в контур управления ЭВМ со специфическими свойствами, к которым следует отнести: высокую надежность работы вычислительного комплекса — не менее $10^4$ ч безотказной работы и малым 0,5 ч временем восстановления; возможность арегирования (наращивания числа блоков в зависимости от роста интенсивности) и декомпозиции (разделение, отключение ряда блоков) в зависимости от потребностей при УВД в РА, АУЗ либо на трассах; высокое быстродействие не менее $10^6$ операций в 1 с; возможность работы в реальном масштабе времени; большой объем оперативной памяти $50 \cdot 10^3$ слов; наличие математического обеспечения, включающего совокупность специальных алгоритмов; относительно малую стоимость аппаратуры комплекса; возможность наращивания каналов связи; малые габариты и массы комплекса.

Названный перечень свойств может служить основой для составления совокупности частных показателей в решении задачи выбора предпочтительного варианта ЭВМ для АС УВД [98]. При этом разработка развернутого математического обеспечения практиче-

ски неосуществима без использования методов оптимизации. Для возможности выбора и сравнения методов необходимо, кроме их классификации, рассмотреть некоторые общие их свойства, т. е. осуществить краткий критический обзор методов оптимизации.

Совокупность специфических свойств, которыми должны обладать ЭВМ либо вычислительные комплексы, используемые в системах УВД, трансформируется в виде ряда необходимых качеств, которыми должны обладать алгоритмы, составляющие основу математического их обеспечения и в том числе алгоритмы, построенные на базе методов оптимизации. Это накладывает известные требования, которые должны быть учтены при выборе алгоритмических методов оптимизации процессов в системе УВД. Так же, как и сами ЭВМ, используемые в них методы оптимизации можно разделить условно на те, которые предполагается использовать на этапе непосредственного УВД в стандартных условиях либо в особых условиях полета, и те, которые используются на этапах организации УВД и планирования воздушного движения. Одним из основных требований, предъявляемых к первым, является быстродействие — способность метода получать оптимальное решение задачи оптимизации в кратчайшее время. Наиболее характерным требованием во второй группе методов является пригодность к решению задач оптимизации большой размерности на этапе планирования и требование универсальности совокупности методов оптимизации, используемых на этапе организации УВД. Общий для всех является требование высокой точности решений. Среди специфических требований, например, на этапе планирования выделяется возможность решения задачи предварительного расчета оптимального плана полетов либо коррекции текущих планов с разрывными областями допустимых решений. Значительная размерность задач наряду со специфичными требованиями и необходимостью быстрого получения результатов высокой точности не позволяет из известных методов решения статических задач на этапе планирования, таких, как группа методов случайного поиска, прямого перебора и совокупности алгоритмов линейного программирования, рекомендовать хотя бы одну из модификаций последнего в «чистом» виде [99—105]. Для их применения требуются дополнительные модификации и доработки. На этапе организации УВД характерным для алгоритмических методов является требование возможности решения с их помощью многоэкстремальных задач математического программирования при сложном виде функций цели и ограничений. Подобные задачи возникают при выборе мест установки обзорных РЛС, решении структурных и других задач. Поэтому для решений подобных задач наиболее предпочтительными являются комбинированные методы, сочетающие алгоритмы случайного поиска с градиентным спуском, либо методы линейного программирования в сочетании с градиентными и другими методами. Однако и здесь учет специфики приводит к необходимости дополнительных разработок и комбинаций методов [106—109].

Наряду с методами решения задач математического программирования для этапа организации УВД характерным является применение методов решения динамических задач оптимизации, способных решать такие задачи, как оптимизация схем и маршрутов полета, выбор оптимальной оси трасс и другие, связанные с расчетом оптимальных программных траекторий движения летательных аппаратов. Методы решения таких задач базируются обычно либо на алгоритмах, построенных с использованием условий оптимальности, получаемых в соответствии с теоремами классического вариационного исчисления, принципа максимума или функционального анализа [28, 110], либо непосредственно на последовательных процедурах алгоритмических методов поиска, таких, как динамическое программирование, последовательная оптимизация (математическое программирование) и др. [111, 112]. Наличие в простейшем контуре таких элементов, как диспетчер и экипаж летательного аппарата, вносит в задачи оптимизации существенные особенности. Поэтому методы решения динамических задач на этапе непосредственного УВД должны быть ориентированы на учет обстоятельств, связанных с наличием человека-оператора в контуре управления, возможными неопределенностями в задании параметров объекта управления и другими особенностями.

При исследовании задач на этапе непосредственного УВД в особых условиях подавляющее большинство рекомендаций сходится на целесообразности гарантийного подхода базирующегося на результатах, полученных в теории игр и решений [91—96]. Выбор наилучшего метода оптимизации для каждого из видов задач, возникающих на различных этапах функционирования системы УВД, производится с учетом возможно большего числа характерных особенностей данного вида задач. Теоретические особенности выбора наилучшего алгоритма известны лишь для случая простейших задач с одномерной унимодальной функцией цели [106, 107, 109]. Обычно используется экспериментальный метод тестирования и сравнение методов оптимизации [99, 107, 109]. Существенную роль здесь играет выбор тестовых задач и условий проведения экспериментов, которые также должны учитывать специфику процессов, происходящих в системе УВД.

Так, на этапах организации и (в меньшей степени) планирования, представляется целесообразным использовать оценку эффективности методов по значению математического ожидания результатов испытания метода, по набору тестовых задач и множеству начальных условий.

На этапе осуществления непосредственного УВД и, что наиболее важно, в особых условиях нужны другие, отличающиеся от осредненных оценки. Ими могут служить минимаксные показатели. Кроме того, выбор методов не может рассматриваться без учета имеющихся вычислительных средств, поэтому наиболее рациональным является выбор совокупности методов совместно с выбором варианта ЭВМ либо ВК для системы УВД на каждом из этапов ее функционирования.

**Контрольные вопросы**

1. В чем состоят основные особенности алгоритмических методов оптимизации?
2. Перечислите ряд важнейших свойств вычислительных комплексов, используемых при автоматизации процессов УВД.
3. Какие требования выдвигаются к методам оптимизации процессов УВД на этапе организации?
4. В чем состоят основные особенности методов, пригодных для оптимизации процессов планирования воздушного движения?
5. Дайте краткую характеристику требований к методам оптимизации процессов непосредственного УВД.

# Глава 5

# ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УВД

## 5.1. Характеристика основных принципов автоматизации процессов УВД

Для современного этапа развития систем УВД является характерной неизбежность автоматизации процессов из-за обострения противоречий между постоянно возрастающей сложностью и трудоемкостью задач при управлении и ограниченными возможностями существующей организации и структуры системы управления, а также ее элементов и в особенности такого из них, как человек-оператор.

Одним из факторов, определяющих в значительной степени надежность и качество решения основной задачи системы УВД, является пропускная способность системы УВД, значение которой в значительной степени определяется возможностями диспетчера. В условиях возросшего объема воздушных перевозок, постоянного роста скоростей летательных аппаратов наблюдается увеличение интенсивности движения на трассах и во всех зонах УВД, резкое повышение плотности движения в крупных аэропортах. Процессы сбора и обработки информации на борту летательного аппарата, контроля выполнения команд являются повседневной работой диспетчера. Однако повышение плотности и интенсивности движения настолько усложняют обстановку в связи с огромным количеством информации, которую необходимо переработать в процессе УВД, что распространенные в настоящее время способы УВД оказываются малоэффективными, а иногда и вовсе непригодными. Диспетчеры работают при этом с максимальной нагрузкой в условиях острого дефицита времени.

Кардинальным решением возникших проблем в области совершенствования системы УВД является автоматизация процессов УВД с применением быстродействующих вычислительных машин и их комплексов. При этом было бы неправильным считать, что устранение перегрузки диспетчеров в процессе осуществления УВД решает все проблемы повышения эффективности систем УВД.

Большое внимание при совершенствовании системы УВД должно уделяться организационным принципам построения систем УВД и в особенности проблемам рационального деления и эффективного использования воздушного пространства. Решение этих проблем в интересах повышения уровня безопасности, регулярности и экономичности полетов в современных, постоянно усложняющихся условиях возможно только на основе широкого применения методов моделирования и оптимизации, являющихся основными характерными чертами современных автоматизированных систем, базирующихся на использовании средств вычислительной техники.

Проблема автоматизации процессов УВД должна рассматриваться как сложная комплексная проблема, сопутствующая стадиям создания, функционирования и развития существующих систем УВД. При этом автоматизация процессов УВД осуществляется в соответствии с рядом принципов, выявленных теорией и практикой разработки и внедрения автоматизированных систем, а также обусловленных специфическими особенностями системы УВД [86—88]. Среди них на первый план выдвигается взаимосвязь решений, принятых на различных периодах ее создания и этапах функционирования, что не позволяет охарактеризовать АС УВД как относящуюся к одному из принятых классификационных типов: системе управления технологическими процессами и системе организационного управления. АС УВД присущи особенности функционирования и разработки обоих типов систем. Этим объясняется значительная сложность комплексного решения проблемы автоматизации процессов УВД и многочисленность принципов, учитываемых при создании АС УВД.

Принцип системного подхода к созданию АС УВД требует рассмотрения вопросов оптимальной организации взаимодействия всех звеньев системы УВД, выполняющих определенные функции на различных этапах ее развития. Этот принцип предполагает анализ системы УВД в целом, включая определение круга задач с учетом их взаимосвязей, которые необходимо решить для повышения эффективности функционирования системы, а также выявление мероприятий организационного характера, связанных с внедрением автоматизированной системы взамен существующей. Принцип системного подхода реализуется через ряд частных принципов.

Принцип перехода от простого к сложному предусматривает создание и внедрение АС УВД последовательно по этапам путем постепенного увеличения объема автоматически решаемых задач и повышения уровня автоматизации. При этом учитываются специфические особенности и характер решаемых задач в различных зонах УВД, переходная сложность и совместимость методов управления на каждом этапе автоматизации, уровень разработок технических средств и программного обеспечения ЭВМ и др.

Принцип преемственности определяет требования совместимости методов и организации УВД, технических средств и математического обеспечения АС УВД. Так, например, при создании первой отечественной аэродромной АС УВД «Старт» были сохранены сло-

жившиеся в неавтоматизированной системе УВД технологические приемы управления. Благодаря этому диспетчерский состав без существенных затруднений может переходить от использования АС УВД к неавтоматизированной системе и обратно.

Особое место занимает принцип обеспечения рационального взаимодействия человека и вычислительной техники в АС УВД на всех этапах и уровнях автоматизации. Он обусловливает необходимость представления диспетчеру системы информации в форме, удобной и достаточной для своевременного и правильного принятия решений по управлению движением летательных аппаратов, а также выполнения операций контроля за работой технических средств АС, не приводя к перегрузке диспетчера.

Степень автоматизации зависит от возможностей определения полного состава задач, поддающихся алгоритмизации, что связано с состоянием теории анализа системы УВД. Здесь на первый план выступают проблемы декомпозиции общего процесса функционирования системы УВД на составляющие, характеризующиеся возможностями количественной оценки и измерения соответствующих им параметров. Сложность и взаимосвязь протекающих процессов в системе УВД приводят к определенным трудностям полного решения этой проблемы. Наряду с необходимостью учета достигнутого уровня развития соответствующих теоретических и прикладных методов решения проблемных задач важной составляющей обоснования объема автоматизируемых процессов является состояние базы технических средств, используемых для автоматизации. Кроме того, полная автоматизация алгоритмизуемых процессов может потребовать использования и необходимости разработки средств отображения и регистрации информации. При этом необходимо учитывать эксплуатационные возможности вычислительных средств. Стремление к полной автоматизации может потребовать увеличения объема комплекса вычислительных средств и привести к неоправданному усложнению разработки математического обеспечения. Эти обстоятельства, увеличивая стоимость АС УВД, приводят также к возрастанию временных затрат на разработку и ввод системы в эксплуатацию, что может оказаться экономически нецелесообразным и в целом невыгодным.

Помимо чисто теоретических, технических и экономических аспектов проблемы обоснования необходимой степени автоматизации процесса УВД, ее решение в значительной степени обусловлено учетом места и роли в АС УВД диспетчера, который в силу целесообразности лишь частичной автоматизации процессов остается важнейшим элементом системы. Необходимость обоснования состава автоматизируемых функций по УВД связывается прежде всего со стремлением сохранить на высоком уровне показатель надежности деятельности диспетчера во всех ситуациях УВД и обеспечить более высокую эффективность деятельности по сравнению с неавтоматизированной системой. Достижение этих целей основывается на решении вопроса рациональной загрузки диспетчера в процессе УВД, удовлетворяющей требованиям поддержания необходимого

уровня профессиональной подготовленности и готовности работы в критических ситуациях.

При этом одним из важнейших принципов обоснования степени автоматизации должен быть принцип сохранения целостности структуры деятельности оператора [88]. Сущность этого принципа состоит в таком выборе автоматизируемых функций, который исключает возможность дезорганизации процесса управления из-за неадекватности структуры деятельности реально протекающему процессу. Дезорганизация процесса управления может явиться как следствием автоматизации возможно полного объема алгоритмизуемых функций, так и результатом их случайного необоснованного выбора. В первом случае диспетчеру пришлось бы сравнительно редко принимать участие в принятии решений в соответствующих ситуациях. Тем самым исключается возможность формирования и поддержания на высоком профессиональном уровне структуры решения определенной группы взаимосвязанных задач и вследствие этого затрудняется прогноз развития процесса и анализа непредвиденных неавтоматизированных ситуаций.

Во втором случае при автоматизации части возможных ситуаций нарушается логическая структура причинно-следственных связей между событиями в процессе УВД, что приводит к необходимости формирования усложненной, разбитой на части субъективной структуры деятельности диспетчера, не отражающей адекватно развитие воздушной обстановки в зоне УВД. Таким образом, принцип сохранения целостности структуры деятельности диспетчера в системе УВД предполагает автоматизацию только таких процессов осуществления УВД, для которых имеются достаточные научные обоснования целесообразности их автоматизации с точки зрения повышения эффективности функционирования системы УВД и деятельности диспетчера во всех режимах работы.

Таким образом, в основе концепции автоматизации процессов УВД в широком смысле и создания АС УВД должен быть положен общий для автоматизированных систем принцип «человеко-машинной» системы управления в виде комплекса. Поэтому такие автоматизированные комплексы, включающие АС УВД, можно условно разделить на две части: организационно-управляющую и технологическую.

Организационно-управляющая часть включает управленческий и исполнительный аппарат всех звеньев организационной структуры МГА, осуществляющих разработку и внедрение мероприятий по организации УВД, планированию и обеспечению воздушного движения, а также координацию решений по УВД с широким использованием ЭВМ или их совокупностью в объеме, определяемом должностными инструкциями, методическими указаниями и другими документами, регламентирующими деятельность соответствующих органов.

Технологическая часть АС УВД включает в себя комплекс технических средств, информационную базу, программно-математическое обеспечение. Одним из основных принципов, определяющих

требования к организации технологической части АС УВД, является принцип совместимости подсистем АС УВД различных уровней. Его реализация предполагает наличие единой системы сбора и обработки информации на всех уровнях планирования воздушного движения, унификации системы документирования и кодирования информации для ее автоматической обработки, а также общих принципов использования средств отображения информации, организации связи и передачи данных. Это обусловливает, в свою очередь, единство организационной структуры и типажа технических средств, математического и программного обеспечения для решения однотипных задач на различных уровнях АС УВД.

Важнейшим общесистемным принципом создания АС УВД является принцип иерархичности (декомпозиции). Реализация этого принципа связывается с построением многоуровневой иерархической модели системы УВД. Этот принцип позволяет более полно учитывать принцип системного подхода при решении вопросов, касающихся информационного, математического и технического обеспечения. На основании его осуществляется выделение подсистем в системе УВД по функциональному, организационному и другим признакам, определяются информационно-логические схемы взаимосвязи задач АС УВД, обеспечивается модульный принцип организации математического и программного обеспечения АС УВД. Последний, в свою очередь, способствует соблюдению еще одного из важнейших системных принципов — принципа непрерывного развития системы, обусловливающего наряду с принципом преемственности, минимизацию затрат на совершенствование АС УВД.

Перечисленные принципы автоматизации процессов УВД дополняются рядом частных принципов, характерных для решения отдельных задач и их комплексов на всех этапах проектирования, разработки и внедрения АС УВД. Сочетание рассмотренных принципов при проведении автоматизации процессов УВД должно быть таким, чтобы во всех случаях переход от существующей системы УВД к системе с более высоким уровнем автоматизации обеспечивал повышение пропускной способности соответствующих зон УВД при условиях повышения или по крайней мере сохранения на заданном уровне безопасности полетов и удовлетворения ограничений технико-экономического характера.

**Контрольные вопросы**

1. Дайте характеристику основных факторов, обусловливающих необходимость автоматизации процессов УВД.
2. Перечислите основные общесистемные принципы автоматизации процессов УВД.
3. Раскройте содержание принципа обеспечения рационального взаимодействия человека и ЭВМ в АС УВД.
4. Дайте обоснование необходимости соответствия уровня развития технической и научной базы.
5. В чем состоит сущность принципа сохранения целостности структуры деятельности?
6. Раскройте содержание принципа иерархичности и особенности его применения при создании АС УВД.

В соответствии с основными принципами автоматизации процессов УВД осуществляется в несколько этапов. Состав автоматизируемых задач на каждом этапе определяется путем обоснования необходимой и достаточной степени автоматизации на основании анализа информационной взаимообусловленности и связанности задач, возможностей технического, математического и программного обеспечения и некоторых других факторов.

Наиболее характерные этапы автоматизации процессов УВД определены специалистами стран — членов СЭВ [89]. Необходимый уровень автоматизации на каждом этапе определяется при этом с учетом: постепенного повышения качества, эффективности и производительности систем УВД при минимизации увеличения объема технического оборудования за счет его преемственности при переходах от этапа к этапу; наиболее эффективного использования технического оборудования существующих систем УВД; гибкого изменения структур АС УВД и технологии УВД при переходе к следующему этапу автоматизации; удобного сопряжения взаимодействующих (смежных) систем УВД, находящихся на различных уровнях автоматизации; взаимодействия с системами УВД других ведомств.

На главные показатели эффективности функционирования системы УВД непосредственное влияние оказывает качество и эффективность осуществления процессов УВД. Реализация процессов планирования, в особенности предварительного, обеспечивая выработку программ для осуществления процессов УВД, оказывает такое влияние опосредовано. При этом в конкретных условиях существующей организации системы УВД обеспечиваются, как правило, приемлемые с точки зрения осуществления УВД решения задач предварительного и текущего планирования воздушного движения в соответствующей зоне УВД. Постепенное повышение эффективности систем УВД за счет автоматизации методов планирования и организационных решений с учетом технико-экономических ограничений оказывается оправданным только на основании тщательного анализа и обобщения опыта эксплуатации системы УВД, в том числе и автоматизированной, в течение длительного периода эксплуатации.

Основной характерной чертой первого этапа автоматизации процессов осуществления УВД является автоматизация информационных процессов с целью освобождения диспетчеров от трудоемкой и неквалифицированной работы по приему, группированию и обобщению, а также частичной обработке информации о воздушной обстановке. На этом этапе решаются задачи приема, хранения и отображения планов полета летательного аппарата, автоматизируются операции получения и отображения информации о действительном местоположении совокупности летательных аппаратов, и параметрах их движения, осуществляется слежение за движением летательных аппаратов и экстраполяция их местоположения, ав-

томатизируются операции передачи управления в смежную зону или сектор, обеспечивается прием и отображение информации о метеоусловиях. Кроме того, осуществляется автоматизация хранения и отображения статических характеристик соответствующих зон УВД.

Помимо освобождения диспетчеров от выполнения операций, имеющих в их деятельности вспомогательный характер, но отнимающих значительную часть времени, решение задач первого этапа позволяет создать базу для высокоорганизованной системы обработки данных на последующих уровнях автоматизации, а также обеспечить возможность регулярного накопления и своевременного анализа статистических данных с целью получения достоверных оценок потребностей в совершенствовании системы УВД.

Второй и последующий этапы автоматизации процессов осуществления УВД связаны с реализацией вычислительных процессов, составляющих наиболее сложно формализуемую часть профессиональной деятельности диспетчера. На втором этапе решаются задачи анализа и оценки отклонений действительного и экстраполированного местоположений летательного аппарата от планируемого положения с целью обнаружения и своевременного предупреждения диспетчера о возможных конфликтных ситуациях. Решение этих задач обеспечивает диспетчера информацией об обобщенных характеристиках состояния воздушной обстановки, сокращая время на ее анализ и предоставляя достаточное время для принятия решений.

На третьем этапе автоматизируются процессы выработки вариантов решений по управлению движением летательного аппарата, которые могут выдаваться диспетчеру с целью снижения вероятности неправильных действий с его стороны. Уровень автоматизации на этом этапе позволяет, кроме того, осуществить получение не только качественных, но и некоторых количественных оценок воздушной ситуации в зоне УВД, что обеспечивает возможность автоматизации объективного контроля деятельности диспетчера УВД.

Главной задачей последующих этапов автоматизации процессов осуществления УВД является совершенствование АС УВД на основе широкого использования теории методов оптимальных решений для обеспечения диспетчера информацией по осуществлению УВД наилучшим образом. Решение задач на этих этапах максимально разгружает диспетчеров от выполнения вычислительных и логических операций при принятии решений и способствует дальнейшему переходу к более высокому уровню автоматизации процессов УВД.

Повышение эффективности и качества автоматизированных решений задач осуществления УВД неразрывно связано с обеспечением необходимого уровня автоматизации процессов планирования движения летательного аппарата и организации УВД. При этом в соответствии с рассмотренными общими принципами развития АС УВД автоматизация процессов планирования и организации УВД производится также в несколько этапов. Так, на первом

этапе автоматизируются процессы сбора, регистрации и хранения информации о предполагаемом воздушном движении в зонах УВД, осуществляется составление предварительного плана полетов, проводится направленная коррекция предварительного плана с целью выявления и устранения конфликтных планов, автоматизируется составление и рассылка сообщений по откорректированному предварительному плану полетов. Кроме того, решаются задачи автоматизированной обработки информации при составлении и отображении текущих планов полетов, а также обеспечивается получение, хранение и статистический анализ информации об отклонениях траекторий полетов в пространстве и времени от планируемых.

На втором этапе решаются такие задачи, как: корректировка предварительного плана по устранению конфликтных планов с учетом пропускной способности отдельных зон УВД; проверка и устранение конфликтности текущих планов; координация по планам полетов между взаимодействующими зонами УВД с учетом их пропускной способности; составление и передача сообщений по текущим планам полетов и др. Последующие этапы автоматизации процессов планирования связываются с нахождением оптимальных решений по коррекции конфликтных планов, перераспределению потоков летательных аппаратов, координации планов полетов с учетом ограничений по пропускной способности и допустимой нагрузки на диспетчеров в соответствующих зонах УВД.

Автоматизация процессов организации УВД, связанных с совершенствованием структуры системы и повышением эффективности использования воздушного пространства, базируется на обработке результатов анализа статистических данных, накопленных в процессе планирования и осуществления УВД. Здесь возникают такие задачи, как: анализ и рациональная организация зон УВД с учетом существующих и прогнозируемых характеристик воздушного движения; расчет оптимальных схем полета на различных участках траектории; реорганизация сети трасс в интересах рационального распределения потоков ЛА в воздушном пространстве; рациональное размещение радиотехнических средств УВД и др.

Практически нельзя установить четкие границы проведения рассмотренных этапов автоматизации процессов УВД. Отнесение задач к различным этапам также можно считать в значительной степени условным. Очередность их решения, состав задач каждого этапа автоматизации определяется и уточняется применительно к конкретным сложившимся условиям с учетом всех рассмотренных выше факторов и общих принципов автоматизации процессов УВД.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите особенности, определяющие уровень автоматизации унифицированного ряда АС УВД.
2. Сформулируйте цели и раскройте содержание основных этапов автоматизации процессов осуществления УВД.
3. Раскройте содержание основных этапов автоматизации процессов планирования воздушного движения.
4. Дайте краткую характеристику этапов автоматизации процессов организации УВД.

## 5.3. Структурные особенности АС УВД

АС УВД относятся к классу больших систем со сложной структурой. При этом в соответствии с основными принципами автоматизации процессов УВД структура АС УВД не остается постоянной, а изменяется в зависимости от уровня автоматизации. Несовпадение во времени этапов автоматизации различных процессов УВД определяет ряд переходных структур АС УВД. Выбор предпочтительных структур АС УВД и порядок целесообразного перехода от одной структуры к другой при повышении уровня автоматизации рассматриваются в работе [89].

В соответствии с принятой концепцией целесообразности первоочередной автоматизации процессов планирования (предварительного и текущего) и осуществления УВД (управление по траектории текущего плана и управление с экстраполяцией) и относительно слабой связи реализации процессов предварительного планирования воздушного движения с другими определено 14 типов переходных структур АС УВД в районе диспетчерской службы. Каждая из них отличается от других уровнем автоматизации обработки радиолокационной информации и планов полета. С учетом требования сбалансированности системы с точки зрения полноты выполнения функций, присущих соответствующему этапу автоматизации, и использования возможностей технических средств при УВД определено 35 целесообразных вариантов перехода от существующей системы к АС УВД наиболее высокого в рамках унифицированного ряда уровня автоматизации.

Возможность организации постепенного совершенствования АС УВД обеспечивается благодаря применимости принципа декомпозиции, согласно которому АС УВД может быть представлена как объединение ряда подсистем. Каждая из этих подсистем, в свою очередь, может рассматриваться как сложная система с присущими ей особенностями.

Наиболее отчетливо эти особенности проявляются при попытке их классификации в соответствии с принципами, разработанными в общей теории сложных систем [41, 90]. Широко распространено деление АС УВД по функциональному признаку.

Однако такое деление не охватывает все возможные аспекты назначения и применения АС УВД и требует привлечения для описания структурных особенностей более широкого спектра признаков.

По целевому назначению и выполняемым функциям в АС УВД можно выделить АС организации УВД, планирования движения летательных аппаратов, осуществления УВД.

Назначение каждой из названных подсистем определяется содержанием совокупности задач, решаемых с учетом специфики протекания процессов УВД.

Продолжая такое деление по функциональному признаку за счет выделения подмножеств функциональных задач, объединен-

ных общей целью, можно выделить, например, подсистемы предварительного и текущего планирования.

Положив в основу классификации территориальный принцип, с учетом характера движения летательных аппаратов в соответствующих зонах УВД, получаем виды АС УВД, составляющие унифицированный ряд. Основные из них принято называть аэродромными, трассовыми и аэроузловыми. Аэродромной и аэроузловой АС УВД можно однозначно поставить в соответствие район ответственности диспетчерской службы (район аэродрома, аэроузловая зона, воздушная зона крупного центра). Трассовая АС УВД может принципиально не относиться к отдельно взятому РДС. Организационно все трассовые и аэродромные АС УВД должны объединяться в АС УВД страны либо отдельного крупного ее района (зонального центра), либо центра управления потоками. В качестве основных функций последней в первую очередь следует отметить такие, как: координация решений по планированию потоков воздушных судов, вырабатываемых трассовыми АС; обобщение результатов статистического анализа интенсивности полетов и пропускной способности отдельных зон УВД; выработка рекомендаций по совершенствованию организации УВД с учетом технико-экономических факторов, включая рекомендации по повышению уровня автоматизации процессов УВД.

Так же, как и АС УВД в целом, в трассовых и аэродромных АС УВД можно выделить подсистемы организации, планирования и осуществления процессов УВД. Обе системы имеют качественно аналогичные основные функции, состоящие в расчете бесконфликтных планов полета, контроля за соблюдением норм эшелонирования и выполнением установленных правил и схем полетов летательных аппаратов, предсказании конфликтных ситуаций и выработке решений по их устранению.

Однако им присущ ряд особенностей, вытекающих из различных целей, конкретного содержания и характера задач, решаемых в каждой системе.

Одной из главных функциональных задач подсистем планирования трассовой АС УВД является планирование потоков летательных аппаратов и расчет рациональных маршрутов по участкам трасс таким образом, чтобы, не нарушая критериев регулярности и экономичности, обеспечить наиболее эффективное использование воздушного пространства. При этом учитываются ограничения, накладываемые на интенсивность движения летательных аппаратов в зонах аэропортов, расположенных в области обслуживания трассовой АС УВД, пропускные способности участков трасс в точках их схождения и пересечения, а также на рубежах передачи управления в смежные районы ответственности. Решение задач, связанных с анализом интенсивности движения летательных аппаратов, согласованием и регулированием их потоков, является одной из основных функций трассовой АС УВД. Другие функции АС хотя и находятся в некотором подчинении по отношению к рассмотренной, тем не менее позволяют характеризовать подсистемы текущего

планирования, организации и осуществления УВД как в значительной степени автономные, что и позволяет реализовать их автоматизацию практически независимо от функций предварительного планирования.

В отличие от трассовой аэродромная АС УВД характеризуется сильной взаимосвязью ее подсистем. Это связано с тем, что обеспечение максимальной пропускной способности при гарантированном уровне безопасности полетов может быть осуществлено только при условии совместного рассмотрения и разрешения совокупности ограничений и локальных целей, определяющих функциональную суть процессов организации, планирования и осуществления УВД в районе аэродрома. Необходимость комплексного подхода при автоматизации УВД в районе аэродрома обусловливается рядом факторов. К ним относятся: сложность структурной организации, характеризующаяся ограничениями, накладываемыми на использование воздушного пространства рельефом местности и схемами маршрутов прибытия и отправления; большое количество операций, выполняемых летательным аппаратом и контролируемых диспетчерами системы УВД; непрерывность технологического процесса осуществления УВД, требующая постоянной координации деятельности смежных диспетчерских пунктов с целью поддержания пропускной способности отдельных зон и района аэродрома в целом на достаточно высоком уровне, а также обеспечения условий равномерного распределения нагрузки между диспетчерами УВД.

Взаимное влияние перечисленных факторов проявляется тем сильнее, чем выше плотность движения в районе аэродрома. В этих условиях достижение максимального эффекта от автоматизации процессов УВД возможно только на основе всестороннего и одновременного исследования экстремальных свойств всех элементов системы с последующим выбором вариантов решений, обеспечивающих оптимальные или близкие к ним значения целевой функции автоматизации — пропускной способности системы УВД. Удовлетворение этих требований возможно лишь при соответствующем согласовании организации и обеспечения УВД в зоне аэродрома. При этом среди функций АС УВД важное значение уделяется решению ряда оптимизационных задач. В подсистеме организации к ним можно отнести: рациональное деление воздушного пространства зоны с установлением количества и конфигурации границ секторов; распределение зон ожидания в районе аэродрома; оптимизацию маршрутов, схем маневрирования и захода на посадку; расчет оптимальных схем снижения при внеочередном заходе на посадку.

В подсистеме планирования выделяются задачи оптимального установления очередности захода на посадку, распределение потоков летательных аппаратов по секторам УВД, выбор рациональных вариантов схем полета летательных аппаратов в зоне. Все эти задачи решаются с учетом сложных требований, предъявляемых к системе с точки зрения безопасности полетов и допустимой нагрузки на диспетчеров УВД.

В подсистеме осуществления УВД среди задач, качество решения которых в значительной степени определяет эффективность системы в целом, можно назвать выработку оптимальных команд и рекомендаций по УВД на всех этапах полета в зоне, включая управление пространственными и временными интервалами совокупности вылетающих и прилетающих летательных аппаратов с целью максимизации пропускной способности ВПП, а также автоматизацию процессов прогнозирования конфликтных ситуаций и выработки оптимальных рекомендаций по их устранению. Взаимосвязь всех отмеченных задач проявляется при выполнении в АС УВД операций по координации решений, вырабатываемых в процессе планирования и осуществления УВД. Сказанное свидетельствует о том, что аэродромной АС УВД присуща более высокая степень взаимосвязи функций, чем для трассовой АС УВД, которая повышается при переходе на более высокие уровни автоматизации.

Общим для всех АС УВД, рассматриваемых на любых уровнях иерархии и этапах автоматизации, является возможность выделения в них подсистем сбора, обработки и отображения информации. Детальное изучение их структур и характеристик может явиться предметом специальных исследований. Функционирование подсистем сбора и отображения информации базируется на использовании различных технических средств, выбор которых обусловливается характером информационных потоков, необходимостью и видом их первичной обработки, удобством восприятия информации диспетчерами УВД, а также рядом других требований, определяющих надежность и достоверность информации, периодичность сбора и отображения, вид и форму отображаемой информации и др.

Особое место среди технических средств в АС УВД занимают электронные вычислительные машины (ЭВМ). Если на первых этапах развития АС УВД, связанных в основном с автоматизацией процессов сбора, частичной обработки и оперативного отображения информации о состоянии воздушной обстановки, речь идет о целесообразности применения ЭВМ, то на последующих этапах автоматизации, связанных с оптимизацией принимаемых решений по УВД, целесообразность использования ЭВМ перерастает в необходимость. С увеличением степени автоматизации меняются и роль и место ЭВМ в АС УВД.

На первых этапах автоматизации ЭВМ в АС УВД не выполняет функций по управлению непосредственно процессами воздушного движения. Здесь возможно применение специализированной ЭВМ информационного типа, основная функция которой состоит в централизации контроля многочисленных параметров процесса. Задача такой ЭВМ состоит в сборе, накоплении, обработке и регистрации информации о постоянных и динамических характеристиках и параметрах летательных аппаратов, находящихся или поступающих в зону УВД на управление. При этом ЭВМ обеспечивает не только идентификацию и отображение местоположения летательного аппарата, но и осуществляет ряд вычислительных операций. В частности, производится анализ соблюдения норм эшелони-

рования летательных аппаратов в пространстве и во времени, реализуются функции прогнозирования местоположения летательного аппарата через установленный момент времени. Обработанная информация представляется диспетчеру в удобном для восприятия виде. На основе анализа этой информации и накопленного опыта диспетчер принимает решение об управлении процессом движения летательных аппаратов в конкретных условиях. При этом передача решений экипажам летательных аппаратов и УВД смежным диспетчерским пунктам осуществляется, как правило, без участия ЭВМ.

Повышение уровня автоматизации процессов УВД усиливает роль и место ЭВМ в АС УВД. Расширение функциональных задач выдвигает и новые требования к ЭВМ. Возможности специализированных ЭВМ информационного типа оказываются уже недостаточными. Наряду с изменением требований к быстродействию и объему памяти резко усложняются функции ЭВМ по управлению самими вычислительными процессами в условиях необходимости решения большого числа разнородных задач, использующих информацию различного типа и характера. Эти обстоятельства, а также требования согласованного решения задач в порядке, обусловленном технологическим процессом, накладывают определенные ограничения на разделение времени в динамике решения задач.

Кроме того, различия в получении и реализации решений отдельных задач в АС УВД определяются такими характеристиками как: периодичность расчетов новых вариантов решений; длительность решения задач; допустимое время задержки передачи, приема и начала обработки информации, а также выдачи и использования результатов решения и некоторые другие. Такие различия особенно заметны при разграничении задач и функций АС организации, планирования и осуществления УВД.

При этом в процессе осуществления УВД ЭВМ должна обеспечивать обработку информации и выработку решений в реальном и даже ускоренном масштабе времени. Различия в периодичности и допустимой длительности решения задач не могут не сказаться на требованиях, предъявляемых к тактико-техническим данным ЭВМ, используемых для автоматизации процессов в различных подсистемах АС УВД. Различаются и требования к их математическому и программному обеспечению. Сказанное приводит к целесообразности применения для автоматизации процессов УВД не одной, а нескольких ЭВМ, образующих в силу необходимости обмена информацией между подсистемами вычислительные комплексы или системы. Такое объединение не является простой технической задачей и связывается с решением ряда научно-технических проблем. К наиболее сложным из них относятся: синтез структуры вычислительной системы; выбор вариантов ЭВМ, составляющих вычислительную систему; распределение задач по ЭВМ системы; организация и обеспечение вычислительного процесса и др. Особенно сложными оказываются эти проблемы в условиях вычислений и управления в реальном или ускоренном масштабе времени в АС осуще-

ствления УВД. При автоматизации функций анализа состояния процессов УВД и выработки команд или рекомендаций по принятию решений при УВД ЭВМ должна работать в так называемом режиме советчика диспетчера, т. е. быть по существу управляющей вычислительной машиной.

**Контрольные вопросы**

1. Назовите основные признаки классификации АС УВД.
2. Дайте классификацию АС УВД по целевому назначению, функциональному, территориальному и объектному признакам. Рассмотрите практическую целесообразность такой классификации.
3. Раскройте содержание основных отличительных особенностей структур трассовой и аэродромной АС УВД.
4. Дайте характеристику роли ЭВМ в АС УВД.
5. Какими факторами обусловлено изменение структуры системы вычислительных средств при повышении уровня автоматизации?

Раздел II

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ УВД И ПЛАНИРОВАНИЯ ПОЛЕТОВ

## Глава 6

## ПРОЦЕССЫ ОРГАНИЗАЦИИ УВД И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ

### 6.1. Основные принципы организации УВД и направления автоматизации организационных процессов

Безопасность полетов, учитываемая в математической модели процессов как показатель либо в виде ограничений, существенно зависит от качества принимаемых диспетчером решений на этапе непосредственного УВД. В последнее время установлено [113], что процесс принятия решения не является мгновенным актом, а поддается декомпозиции хотя бы на две части, самой существенной из которых служит так называемое предрешение. По мнению академика П. К. Анохина, предрешение более важно для понимания процесса принятия решения, чем само принятие решения, потому что как раз при этом расцениваются, сопоставляются опыт, мотивация и обстановка, т. е. те факторы, которые и определяют конкретное решение. В свою очередь, эти факторы получаются в результате выполнения операций, решения задач и процессов на этапе организации УВД. Все это подчеркивает комплексный характер процессов на всех этапах УВД и значимость этапа организации УВД.

Важность качественного решения задач и выполнения операций в процессах организации УВД, а также их сложность приводят к неизбежности применения самых современных подходов к анализу и синтезу процессов организации УВД. Так возникает идея автоматизации процессов организации УВД. С помощью такого подхода можно достичь значительной унификации при решении наиболее сложных задач организации и учесть те специфические черты, которые вносит каждая новая зона УВД при решении задач организации.

Примером такой унификации с учетом местной специфики служит опыт внедрения выносных зон ожидания и стандартных траекторий полетов в РА и АУЗ, полученный как у нас в стране, так и за рубежом [114].

Одной из наиболее важных характеристик служит оценка состояния организации УВД в данной зоне. Кроме того, было бы важно установить ряд общих принципов организации УВД и дать детальный анализ некоторых общих черт процессов организации УВД. Понимая при этом автоматизацию достаточно широко, можно говорить и об автоматизации первой группы процессов в структурной схеме алгоритма, описывающей совершенствование организации УВД в заданной зоне (см. рис. 1.7). Здесь с помощью обработки статистического материала определяется качество организации либо ее отсутствие. Для этого нужна оценка состояния организации УВД и устанавливается необходимость реорганизации УВД в данной зоне.

Важность этапа организации УВД и значение основных процессов, составляющих его содержание, определяется степенью влияния результатов их выполнения на процессы этапа непосредственного оперативного управления. Путем определения количественной характеристики степени влияния и может быть построена оценка состояния организации. При равных прочих условиях, т. е. когда техническое оснащение двух диспетчерских пунктов приблизительно равноценно, классификация диспетчеров эквивалентна, интенсивность движения, характеристики планов полетов в зонах ответственности близки, такие качества оперативного управления. как число потенциальных конфликтных ситуаций и загруженность диспетчера, определяются в основном качеством организации УВД в их зоне. Этот вывод подтверждается и количественными характеристиками, полученными из анализа состояния безопасности полетов. Так, анализ состояния безопасности полетов во многих странах в зонах УВД с интенсивностью воздушного движения (не менее 200 самолетов в сутки) позвляет утверждать, что подавляющее число таких серьезных нарушений, как опасные сближения самолетов по вине службы движения, происходят в подавляющем числе случаев (более 70%) в зонах УВД, где наблюдается достаточно сложная их структура, определяемая границами ответственности и схемами воздушного движения. Это служит бесспорным качественным подтверждением взаимосвязи уровня организации УВД, интенсивности полетов и загруженности диспетчера.

Основными видами конфликтных ситуаций, возникающих в районных центрах (либо эквивалентных им зонам), служат пересечения маршрутов или занятого эшелона. Так, при пересечении маршрутов возникает от 30 до 60% опасных сближений в зонах районных центров. Число случаев опасных сближений на переменных профилях полета составляет от 40 до 70%. Для уменьшения доли ошибок диспетчера при осуществлении непосредственного УВД следует наилучшим образом решать операции и задачи, возникающие при исследованиях процессов на этапе организации УВД, т. е. стремиться к определению наилучших, оптимальных их решений. Данный вывод, сделанный на основе анализа учета выполнения ограничений, накладываемых со стороны требований безопасности полетов, становится еще более очевидным при анализе основных

показателей эффективности системы УВД, в качестве которых принято считать максимальное использование зон УВД, т. е. пропускную способность зон и регулярность полетов. Зависимость пропускной способности зон УВД от структуры и организации воздушного движения, степени и качества оснащения диспетчерских пунктов и зон радиотехнических средств воздушной навигации (РТС ВН) и УВД [115, 217] является известной. Анализ, проведенный с помощью экспериментов на диспетчерских тренажерах в Академии ГА и путем опроса диспетчеров службы движения ряда управлений, подтверждает еще один существенный вывод о зависимости числа нарушений установленных интервалов (опасных сближений) от степени сложности структуры воздушного движения при равных влияниях уровня профессиональной подготовки и других аспектов личностных факторов. Таким образом, степень совершенства решений операций и задач при исследовании процессов на этапе организации УВД не может определяться без учета уровня сложности осуществления непосредственно-оперативного УВД в различных условиях воздушной обстановки. Поэтому в качестве оценки состояния организации УВД в данной зоне можно приближенно принять

$$J_{\Sigma} = \sum_{s=1}^{n} \omega_s I_s, \tag{6.1}$$

где $\omega_s$ весовой коэффициент, характеризующий степень сложности оперативного УВД в $s$-й ситуации. Он определяется путем обработки результатов опроса специалистов либо экспериментальных исследований при наборе достаточного числа статистик по нарушениям интервалов и опасным сближениям в различных ситуациях (догон, пересечение попутного занятого эшелона, пересечение встречного занятого эшелона и т. д.); $I_s$ — оценка числа потенциально-конфликтных ситуаций $s$-го типа за единицу времени. Конкретный вид зависимости для расчета $I_s$ является различным для каждой ситуации $S$, такой, как пересечение встречного занятого эшелона, режим переменного профиля обоих самолетов и др.

Так, в работе [217] приводится следующее выражение для оценки числа потенциально-конфликтных ситуаций за 1 ч между самолетами, производящими полет в горизонтальной плоскости на пересекающихся маршрутах на одном эшелоне:

$$I_j = k_j \frac{\lambda_1 \lambda_2}{V} \left(2l + W \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right), \tag{6.2}$$

где $\lambda_i$ — интенсивности воздушного движения на $i$-й трассе; $V$ — средняя скорость самолета; $l$ — норма продольного эшелонирования; $W$ — ширина воздушной трассы; $\alpha$ — угол их пересечения; $k_j$ — коэффициент, учитывающий размерности членов в выражении для $j$-го показателя и приводящие его к безразмерному виду.

Аналогичные выражения можно получить и для других характерных случаев и ситуаций [116]. При таком подходе величина $J_{\Sigma}$ может быть использована для ориентировочной оценки качества организации УВД. Такой оценкой следует пользоваться осторожно, применяя при этом и другие показатели, характеризующие уровень качества организации УВД. Величина $J_{\Sigma}$ в совокупности с выражениями для $I_s$ количественно характеризует взаимосвязь уровня сложности непосредственного УВД и качества решения организационных задач. При этом ясно, что не все процессы этапа организации УВД удается отразить с одинаковой полнотой в подобной оценке.

Группа процессов синтеза (см. гл. I) включает три процесса, объединяемые по функционально-смысловому признаку:

рационального деления воздушного пространства и структурного построения службы движения, разработки и внедрения структуры и порядка взаимодействия между диспетчерскими пунктами, а также межведомственными органами и др.;

рациональной организации производственных (технологических) процессов УВД, включающих разработку научно-обоснованных нормативов допустимого уровня загруженности диспетчера в зависимости от конкретных условий каждой зоны УВД, разработку и внедрение методов оптимального планирования полетов и др.;

выработки единого и непротиворечивого регламента, включающего правовые положения, документацию службы движения, унифицированные информационные документы и др.

Отсутствие единой обоснованной и формализованной оценки качества выполнения значительного числа названных процессов и сложность записи для части из них математических моделей заставляет при исследовании операций и решении задач учитывать некоторые общие принципы организации УВД. При этом вид реализации такого учета выбирается каждый раз особо: в виде ограничений, вариаций параметров или показателей и др. К подобным общим принципам организации УВД относятся:

принцип комплексного исследования процессов организации УВД, т. е. разносторонность исследования с учетом всех существенных факторов, условий, а также взаимосвязи процессов как на этапе организации УВД, так и на различных других этапах функционирования системы УВД;

принцип «равнопрочности», т. е. стремление при организации УВД к получению таких организационно-структурных решений, которые приведут к равномерной нагрузке и обеспечению во всех зонах;

принцип гарантийного подхода, когда в условиях наличия неопределенности исследование операций и решение задач в процессах на этапе организации производят в расчете на наихудший возможный случай;

принцип обеспечения непрерывности функционирования системы УВД;

принцип единоначалия в непосредственном управлении воздушным движением и принятии организационно-структурных решений.

Учет основных принципов хотя и не эквивалентен конкретным методам, а значит, и не позволяет найти наилучшие решения задач для процессов этапа организации УВД, но дает возможность получить множество решений, принадлежащих области допустимых значений.

В соответствии с принципом «равнопрочности», т. е. обеспечения равномерной нагрузки на элементы системы УВД, принимаются организационно-структурные решения при организации УВД. В структуру системы УВД входят диспетчерские пункты, осуществляющие непосредственное управление движением летательных аппаратов во всех зонах пространства, контролируемого ею. Так образуются простейшие контуры УВД, состоящие из ряда элементов, важнейшим из которых является диспетчер. Пропускная способность диспетчера $\mu_i(t)$ и допустимая его загруженность $m_i(t)$ определяются психофизиологическими характеристиками человека-оператора и возможностями технических средств и систем УВД, которые он использует.

В реальных условиях загруженность зон УВД $N_i(t)$ может изменяться в значительных пределах и превышать допустимую загруженность диспетчера $m_i(t)$. В случаях когда зона УВД перегружена, $N_i(t) > m_i(t)$. Такая ситуация возникает тогда, когда интенсивность воздушного движения $\lambda_i(t)$ превышает пропускную способность $\mu_i(t)$ данной зоны (диспетчера). При перегрузке возрастает вероятность ошибок и сбоев в работе диспетчера, снижается надежность работы простейшего контура системы УВД, что снижает безопасность воздушного движения.

Поэтому на этапе организации УВД необходимы организационные решения, исключающие перегрузку отдельных элементов простейшего контура и обеспечивающие равномерное распределение нагрузки между ними, при которых $\mu_1(t) \approx \mu_2(t) \approx \ldots \approx \mu_n(t)$ и удовлетворяются условия:

$$\lambda_1(t) \leqslant \mu_i(t);\ N_i(t) \leqslant m_i(t),$$

т. е. решается задача оптимизации вида

$$I = F\left[\sum_{\nu=2}^{\mu+1} \omega_\nu (\mu_\nu - \mu_{\nu-1})^2\right] \to \min \qquad (6.3)$$

при $N_i(t) \leqslant m_i(t);\ \lambda_i(t) \leqslant \mu_i(t)$.

Физическая сущность этой задачи состоит в максимально возможном сглаживании пропускных способностей элементов простейшего контура и смежных контуров.

К числу организационных решений, принимаемых в соответствии с этим принципом, следует отнести: деление воздушного пространства, контролируемого системой УВД, на зоны и определение

объемов (размеров) этих зон; создание сети диспетчерских пунктов в соответствии со статистическими характеристиками потоков летательных аппаратов; автоматизацию и совершенствование процессов непосредственного УВД в зонах с целью увеличения допустимой загруженности диспетчера $m_i(t)$ и пропускной способности зоны $\mu_i(t)$; разделение функций, выполняемых одним диспетчером между двумя в структуре одного и того же пункта либо между диспетчером и оператором.

Например, на РДП (гражданских секторах РЦ ЕС УВД) в РДС с высокой интенсивностью движения летательных аппаратов функции диспетчера РДП (РЦ) выполняют диспетчеры: радиолокационного контроля и процедурного (графического) контроля. Это позволяет равномерно распределить нагрузку по управлению движением в данной зоне и обеспечить надежное функционирование системы УВД.

Принцип гарантированного подхода (решений) используется при анализе операций, задач и процессов этапа организации УВД в условиях неопределенности. Сущность данного принципа сводится к поиску гарантированных решений задач и исследования операций в процессах на этапе организации УВД в подобных условиях с расчетом на наихудший случай. При этом в каждой задаче условие неопределенности моделируется путем предположения о существовании другого участника исследования с противоположными интересами. Подобный подход к исследованию операций и решению задач, связанных с процессами этапа организации УВД, называют игровым или подходом, позволяющим получить гарантированные решения для наихудших условий. Методология решения игровых задач базируется на теории игр, которая исследует вопросы принятия решений в условиях неопределенности.

Принцип обеспечения непрерывности функционирования системы УВД во времени и пространстве является базовым при организации УВД. Это положение обусловлено характеристикой основных процессов и объектов управления в период функционирования системы.

По своей природе и характеру движения управляемые летательные аппараты как динамические объекты не могут быть остановлены в процессе полета. Потоки управляющей, рабочей (по каналам обратной связи) и координирующей информации о воздушном движении в границах зон УВД имеют дискретный характер и должны обеспечивать взаимосвязь элементов простейшего контура. Кроме этого, потоки летательных аппаратов (особенно прилетающих) в зонах с высокой интенсивностью движения, характеризуются пуассоновским законом распределения, т. е. требуют практически непрерывного процесса оперативного УВД во времени. Все эти факторы приводят к необходимости организации системы непрерывного контроля движения летательных аппаратов в границах зон и непрерывной работы диспетчерских пунктов службы движения и всей системы УВД в целом.

*С учетом принципа* обеспечения непрерывности функционирования системы УВД на этапе организации УВД должны быть предусмотрены и решены следующие основные задачи: организации непрерывной работы диспетчерских смен службы движения аэропортов и системы УВД в целом в течение всего периода производства полетов; организации и обеспечения непрерывной работы технических средств и систем УВД; укомплектования штатного состава и подготовки диспетчеров, операторов и руководителей службы движения к непрерывной работе в течение всего времени полетов в зоне; создания системы контроля воздушного движения на базе непрерывного радиолокационного поля в пространстве зон УВД; организации ВРДП в зонах, не перекрываемых радиолокационными полями РЛС, установленных в базовых аэропортах РДС; организации планирования и обеспечения движения летательных аппаратов в условиях непрерывного функционирования системы УВД.

При комплексном решении перечисленных задач на этапе организации УВД может осуществляться (обеспечена) непрерывная деятельность системы УВД.

Принцип единоначалия в процессе непосредственного УВД является наиболее распространенным в структурах систем управления. Его сущность состоит в том, что в границах зоны или некоторого контура системы управление объектами может осуществлять один и только один управляющий орган, несущий полную ответственность за качество управления. Это требование строго должно выполняться в системах управления динамическими объектами типа жизнеобеспечения, к которым относят и систему УВД. В таких системах процессы быстротечны и практически отсутствует время на согласование действий нескольких управляющих органов при их функционировании одновременно в границах одной зоны. Поэтому для системы УВД принцип единоначалия является единственно приемлемым при любой структуре ее функционирования.

В соответствии с этим принципом осуществляется деление воздушного пространства на зоны УВД, создается система диспетчерских пунктов, разрабатываются технология работы диспетчеров и руководящие документы.

Общий и достаточно беглый обзор влияния учета основных принципов показывает, что этап организации УВД является многоплановым и включает большой комплекс взаимосвязанных теоретических, инженерных и организационных мероприятий. Рациональное их выполнение с учетом всех важнейших требований возможно лишь с широким внедрением автоматизации как можно большего числа операций, задач и процесов.

**Контрольные вопросы**

1. Дайте пояснение необходимости автоматизации процессов организации УВД. Приведите конкретный пример имеющегося опыта автоматизации процессов организации УВД в РА.
2. В чем состоит сущность взаимосвязи процессов непосредственного УВД с процессами организации?

3. Приведите данные анализов состояния безопасности полетов, подтверждающие взаимосвязь качества решения организационных задач с процессами непосредственного УВД. Какой из принципов организации УВД обосновывается наличием такой взаимосвязи?

4. Дайте обоснование оценки качества организации в виде параметра, характеризующего уровень сложности оперативного УВД.

5. Выпишите формульные зависимости оценки уровня сложности оперативного УВД.

6. Приведите перечень процессов организации УВД, формализация оценки которых затруднительна.

7. Перечислите общие принципы организации УВД и дайте пояснение их сущности.

8. Назовите организационно-структурные решения, при получении которых учитывается принцип: равнопрочности, гарантийного подхода, непрерывности функционирования, единоначалия.

## 6.2. Автоматизация процессов анализа характеристик воздушного движения и их прогноз

Применение вычислительных устройств в настоящее время рационально и оправдано лишь для обработки статистических данных, проведения громоздких вычислений, решения оптимизационных задач и выработки обоснований для получения рациональных решений. Принятие решений с использованием результатов автоматизированных процессов должно осуществляться человеком либо коллективом людей, способных учесть обоснования, полученные на ЭЦВМ, и, кроме того, знающих, умеющих учесть всю совокупность местных условий и общих тенденций, формализация которых пока еще затруднительна. Поэтому общее направление автоматизации процессов организации УВД представляет собой как бы дискретную совокупность алгоритмов, включенных в общую структуру деятельности органов службы движения, осуществляющих выполнение операций, задач и процессов на этапе организации УВД. Такое включение алгоритмов, позволяющих автоматизировать отдельные операции, задачи либо целые процессы, существенно повышает качество принимаемых решений, значительно сокращает время и затраты на их обоснование. Только в условиях широкого внедрения автоматизации процессов УВД возможно повсеместное получение рациональных параметров организации УВД.

Одним из наиболее важных параметров организации УВД является структурное построение системы УВД. Рациональная структура системы в соответствии с принципом единоначалия взаимосвязана с определением рационального деления воздушного пространства. Поэтому при оценке состояния организации УВД первыми рассматриваются процессы, исследования которых обосновывают организационно-структурные решения в системе УВД. К таким процессам относятся процессы анализа интенсивности воздушного движения и деления воздушного пространства на зоны УВД. Кроме интенсивности воздушного движения на организационно-структурные решения оказывают известное влияние и другие факторы, такие, как: распределение летательных аппаратов на

контролируемом пространстве данной зоны УВД и во времени; общий состав транспортного потока; скорости движения летательных аппаратов; характеристики технических средств УВД и навигации; характеристики операторов, осуществляющих полеты и непосредственное управление воздушным движением, и др. Помимо указанных факторов, структурно-организационные решения определяются еще и характеристиками зоны УВД. Характеристика зоны либо района, контролируемого системой УВД, оценивается по основным параметрам, к которым относятся: размеры воздушного пространства зоны либо района в плане и по высоте; характер производственной деятельности авиапредприятий, базирующихся в границах района; существующая и проектируемая системы воздушных трасс и местных воздушных линий; расположение и характеристики технических средств УВД и навигации, установленных ранее в границах района; физико-географическая и климатическая характеристики района; местные особенности района, существующие ограничения и запреты полетов в районе.

В зависимости от перечисленных параметров зоны района, контролируемого системой УВД, на этапе организации принимаются решения, связанные со структурой системы УВД, и устанавливается общая схема деления воздушного пространства данного района.

Подробный анализ всей совокупности перечисленных факторов и характеристик приводить здесь нецелесообразно. Более обоснованными следует считать анализ параметров такого фактора, как общий транспортный поток, и распределение составляющих его потоков в контролируемом пространстве зоны УВД. Действительно, содержание и перечень исследуемых операций и задач, решаемых в рамках процессов на этапе организации управления воздушным движением, в значительной степени определяются параметрами общего транспортного потока в границах района либо зоны, контролируемых системой УВД. При этом общий транспортный поток составляет совокупность всех летательных аппаратов, выполняющих полеты в границах данного района либо зоны. Эти решения задач организации УВД взаимосвязаны с задачами обеспечения безопасности полетов. При этом необходимо знать следующие основные характеристики потоков летательных аппаратов: распределение потоков по направлению движения, времени, высотам полета, зонам УВД и ведомственной принадлежности; интенсивность движения летательных аппаратов $\lambda_i(t)$; загруженность зон УВД $N_i(t)$; плотность движения летательных аппаратов $p_i(t)$.

Первая из названных характеристик может быть представлена в виде общей схемы распределения потоков летательных аппаратов в воздушном пространстве, контролируемом системой УВД. Общий поток летательных аппаратов в границах района, контролируемого системой УВД, в общем случае подразделяется на ряд потоков по следующим признакам:

по направлению движения — на потоки прилетающих, вылетающих, пролетающих без посадки и выполняющих полеты в границах районов аэродромов и аэроузловых зонах;

по высоте полета — на потоки летательных аппаратов в верхнем и нижнем воздушном пространстве и в зоне местных воздушных линий;

по зонам управления воздушным движением — на потоки летательных аппаратов по воздушным трассам, местным воздушным линиям, маршрутам вне трасс, в районах аэродромов и выполняющих полеты на ПАНХ;

по ведомственной принадлежности — на потоки летательных аппаратов гражданской и ведомственной авиации.

Параметры каждого из указанных частных потоков определяются в процессе их анализа и используются при решении задач организации УВД в каждой зоне. Одним из важных параметров каждого потока летательных аппаратов в любой зоне является интенсивность их движения. Поэтому целесообразно внедрение автоматизации процесса анализа интенсивности воздушного движения.

Под интенсивностью воздушного движения понимают количество летательных аппаратов, поступающих на обслуживание в зону УВД за единицу времени. В их число входят летательные аппараты, прилетающие, вылетающие, пролетающие через зону без посадки и выполняющие полеты в ее границах. Интенсивность воздушного движения обычно оценивается по эмпирическим данным, полученным в результате статистической обработки диспетчерской документации, с помощью которой осуществляется учет и контроль движения летательных аппаратов в зонах УВД (журналы, графики, стрипы). Для анализа используются периоды пик, в течение которых наблюдается наибольшая интенсивность воздушного движения. Под периодом пик понимают непрерывный интервал времени, в течение которого фактическая часовая интенсивность движения превышает среднечасовую за сутки пик,

$$\lambda_i > \frac{N_i}{24},$$

где $\lambda_i$ — фактическая часовая интенсивность движения летательных аппаратов в зоне за период пик; $N_i$ — количество летательных аппаратов, поступивших в зону за 24 ч.

Поток летательных аппаратов, поступающих на обслуживание в зону УВД, является случайным, стохастическим. Это обусловлено тем, что интервалы между очередными поступлениями летательных аппаратов в зону и число их, поступающих на обслуживание за определенные интервалы времени, являются событиями случайными.

Результаты анализа характеристик потоков летательных аппаратов в границах данной зоны, контролируемой системой УВД, полученные при рассмотрении их распределения, интенсивности, плотности и загруженности, являются исходными для деления воздушного пространства на зоны управления, создания системы диспетчерских пунктов и принятие других организационно-структурных решений при организации управления воздушным движением в заданном районе. Поэтому автоматизация процессов анализа мо-

жет существенно ускорить и повысить качество обоснований к принятию решений по делению воздушного пространства и для других, таких, например, как необходимость установки новых радиотехнических средств и т. п.

Характеристики потоков летательных аппаратов, такие, как интенсивность, плотность и распределение их по направлениям движения, времени, высотам полета, являются случайными функциями. Поэтому для прогноза значений, например интенсивности воздушного движения необходимо привлекать аппарат оптимальной фильтрации и прогноза [57, 110]. Однако на практике, учитывая статический характер таких функциональных зависимостей, как интенсивность и другие, чаще используют описанные при моделировании процессов УВД в гл. 2 (методы наименьших квадратов и модулей).

Действительно, имея исходные статистические значения $\lambda^{(i)}(t) = x^{(i)}(t)$, для построения математического ожидания процесса можно с успехом использовать любой из названных методов (2.24) — (2.34). Полученная при этом модель вида

$$\lambda^{(i)}(t) = \sum_{j=1}^{n} b_j f_j^{(i)}(t),$$

где $f_j^{(i)}(t)$ задана, а $b_j$ найдены с помощью МНК либо МНМ при $t \geqslant T$, где $T$ — конец наблюдаемого отрезка времени позволит осуществить прогноз процесса $\lambda^{(i)}(t)$.

**Контрольные вопросы**

1. Чем обосновывается целесообразность лишь частичной автоматизации процессов организации УВД?
2. Какие процессы этапа организации УВД в первую очередь определяют организационно-структурные решения?
3. Перечислите основные факторы, влияющие на организационно-структурные решения этапа организации УВД.
4. Назовите параметры, позволяющие дать характеристику зоны либо района УВД с точки зрения организационно-структурных решений.

## 6.3. Процессы создания системы контроля движения летательных аппаратов и их автоматизация

Радиотехнические средства навигации и УВД играют ведущую роль в обеспечении полетов. Качество радиолокационного контроля в значительной степени определяет эффективность всего управления воздушным движением.

Значительное место в создании системы контроля занимают процессы выбора и размещения обзорных радиолокационных станций (ОРЛС). Получив алгоритмы решения задач, позволяющих осуществлять рациональный выбор и размещение ОРЛС, можно считать, что в действительности они более универсальны и при изменении некоторых начальных условий пригодны для решения за-

дач размещения самых разнообразных радиотехнических средств навигации и УВД [126].

Задачи рационального размещения радиотехнических средств навигации и УВД позволяют осуществить обоснованную оценку требуемого числа таких средств, учитывая сравнительно высокую их стоимость по видам, что является чрезвычайно важным. Впервые подобные задачи применительно к ОРЛС были сформулированы и решены в работах [16, 28, 40]. При этом оценки количества ОРЛС могут быть получены на каждый планируемый период развития гражданской авиации. Такие оценки получаются путем последовательного решения задачи рационального размещения ОРЛС, поставленной для каждого из рассматриваемых периодов, учитывая прогнозируемое на данный период изменение границ зон УВД, требований к техническим и эксплуатационным характеристикам ОРЛС в различных областях зоны УВД и других данных, таких, как тактико-технические и экономические показатели существующих и разрабатываемых типов ОРЛС.

Смысл задачи рационального размещения ОРЛС состоит в том, чтобы, имея исходные данные о границах рассматриваемой зоны УВД, характеристиках воздушного движения в ней, тактико-технические и экономические данные об ОРЛС, найти такие точки установки ОРЛС, при которых будет обеспечен радиолокационный контроль движения летательных аппаратов при наименьших затратах на закупку, установку и эксплуатацию ОРЛС. Подобная задача имеет несколько модификаций (см. гл. 2), учитывающих требования сплошного либо выборочного покрытия различных областей зоны УВД радиолокационным контролем, наличие либо отсутствие ранее установленных ОРЛС и многое другое. При построении математических моделей и их модификаций постановку задачи рационального размещения можно осуществить многими способами. При этом наиболее конструктивной является постановка ее в виде задачи целочисленного линейного программирования [117]. Тогда практическое ее осуществление может быть выполнено следующим способом.

Пусть задана некоторая зона УВД, в которой необходимо создать систему контроля с помощью ОРЛС. С помощью равномерной сетки она разбивается на достаточно мелкие участки, величина которых (шаг сетки) выбирается исходя из соображений учета погрешностей построения зон обзора ОРЛС, точности экономических и других данных и обычно равна 20 км. Узлы сетки образуют множество $M=\{1, 2, ..., i, ..., m\}$ точек, причем в каждой из подобластей $\Omega_j$ зоны УВД, где осуществляются полеты с различными характеристиками, возникают потребности в своем виде контроля, и поэтому

$$M=\bigcup_{j=1}^{n} M_j,$$

где $M_j$ — точки подобласти $\Omega_j$.

В подобласти $\Omega_j$ задается также множество $N=\{1, 2, ..., l, ..., n\}$ точек возможных мест установки ОРЛС. Множества $M$ и $N$ в общем случае не совпадают, так как обычно число точек $N$ значительно меньше числа точек множества $M$.

Таким образом, для каждой $j$-й точки, принадлежащей множеству $N$, характерно обеспечение контроля с заданным свойством. Различные виды контроля требуют размещения различного типа ОРЛС.

Так, если в подобласти $\Omega_j$ выполняются полеты летательных аппаратов тяжелых типов, а в $\Omega_k$, например, только полеты на ПАНХ, то, естественно, что и требования к контролю и типы ОРЛС в $\Omega_j$ и $\Omega_k$ должны быть различными. Пусть каждому из имеющихся $p$ типов ОРЛС ставятся в соответствие весовые коэффициенты $\omega_j^{(s)}$ $(s=\overline{1, p})$, отражающие, например, совокупные затраты на приобретение, установку и эксплуатацию ОРЛС $s$-го типа на месте (в точке), расположенном в подобласти $\Omega_j$. Введем матрицу $\{a_{ij}\}$:

$$a_{ij}=\begin{cases}1, \text{ если точка } i \text{ входит в } M_j;\\ 0 — \text{в противоположном случае.}\end{cases}$$

Искомыми тогда будут булевые переменные

$$x_j^{(s)}=\begin{cases}1, \text{ если множество } M_j \text{ входит в искомое покрытие}\\ 0, \text{ в противоположном случае.}\end{cases}$$

Тогда $\sum\limits_{s=1}^{p}\sum\limits_{j=1}^{n} x_j^{(s)}$ — определяет число множеств всех видов контроля, входящих в покрытие, а взвешенное число ОРЛС тогда определяется показателем

$$I=\sum_{s=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}\omega_j^{(s)}\,x_j^{(k)}. \tag{6.4}$$

Наличие контроля вида $s$ определяется суммой $\sum\limits_{s=1}^{p}\sum\limits_{j=1}^{n} a_{ij}^{(s)}x_j^{(s)}$, характеризующей число множеств, входящих в покрытие и содержащих $i$-ю точку. Тогда условие наличия покрытия имеет вид:

$$\left.\begin{aligned}&\sum_{s=1}^{p}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{(s)}x_j^{(s)}\geqslant 1;\\ &x_j^{(s)}=0,\ 1;\\ &(s=\overline{1,\ p};\ i=\overline{1,\ m};\ j=\overline{1,\ n})\sum_{s=1}^{p} x_j^{(s)}\geqslant 1.\end{aligned}\right\} \tag{6.5}$$

Задача сводится к выбору таких $x_j^{(s)}$, при которых показатель $I$ принимает наименьшее значение и удовлетворяются условия (6,5).

Если считать в первом приближении потребности в контроле однородными, то $p=1$. Принимая во внимание приблизительно одинаковые характеристики зон обзора для трассовых ОРЛС, можно считать, что мощность (число точек) подмножеств $M_j$ соответствующего зоне обзора $\Omega_j$ определяется лишь характером рельефа местности и воздушного движения в окрестности выбранного условного места установки ОРЛС. В этом случае задача рационального размещения (6.4), (6.5) упростится и будет иметь вид:

$$I=\sum_{j=1}^{n} x_j \to \min, \tag{6.6}$$

$$\left.\begin{array}{l} \sum a_{ij}x_j \geqslant 1, \\ (i=\overline{1,\ m};\ j=\overline{1,\ n})\ x_j=0,\ 1 \end{array}\right\} \tag{6.7}$$

Постановка задачи рационального размещения в этом виде или формул (6.4), (6.5) для значительной по размерам зоны УВД, включающей несколько управлений либо какую-либо региональную часть, например Прибалтику, европейскую часть СССР или всю территорию страны, приводит к большим размерностям матрицы $\{a_{ij}\}$. Так, для области $\Omega$, включающей Пензенский, Казанский, Уфимский, Оренбургский и Куйбышевский районы диспетчерской службы, размерность матрицы $\{a_{ij}\}$ $491\times24$.

Значительная размерность условий исходной матрицы в задаче рационального размещения заставляет обратиться к испытанным приемам, базирующимся на принципе декомпозиции, сущность которого состоит в: разбиении сложной задачи на ряд более простых, решение которых обозримо и может быть получено сравнительно просто; разработке системы взаимосвязанных решений простых задач (с помощью введения параметров в ограничения, коэффициентов веса в показатели эффективности, дополнительных неизвестных и других приемов); получении оценок, свидетельствующих о близости синтезированного решения, объединяющего решения простых задач и исходной сложной задачи.

Применение принципа декомпозиции наиболее просто и результативно в тех случаях, когда разбиение массивов выражений исходных условий задачи не приводит к искажениям физической ее природы. Такой случай возникает при разбиении матрицы исходной задачи рационального размещения ОРЛС. Декомпозиция данной задачи для области $\Omega$ большой площади осуществляется в следующей последовательности: построить матрицу $\{a_{ij}\}$ исходного радиолокационного покрытия для всей рассматриваемой области; произвести разбиение полученной матрицы на подматрицы, размерность которых допускает выполнение операций алгоритма решения; выполнить данные операции в каждой из подматриц; объединить полученные результаты в новую общую матрицу условий; выполнить операции алгоритма решения с новой общей матрицей.

Из сказанного следует, что значительное место при решении задачи занимают подготовка и качества исходных данных. Сово-

купность их включает типы ОРЛС, ограничения (запреты) на размещение ОРЛС, физико-географического, демографического и ведомственного характера, места возможной установки ОРЛС на территории заданной зоны и вблизи ее границ, сеть существующих и планируемых трасс, а также минимальные их эшелоны для построения подобластей, требующих непрерывного радиолокационного контроля.

Для выбранных мест предполагаемой установки ОРЛС строятся зоны обзора с учетом минимальных эшелонов полета, углов закрытия, создаваемых рельефом местности. После этого формируется множество точек, отображающее подобласти непрерывного контроля. С помощью этих данных можно построить матрицу радиолокационного покрытия $\{a_{ij}\}$, которая является исходной для решения общей задачи.

Алгоритм решения задачи рационального размещения ОРЛС может рассматриваться как универсальный, так как он позволяет при незначительных модификациях решать задачи рационального размещения различных видов радиотехнических и других средств навигации и УВД, таких, как РСБН, ДРЛ, радиопеленгаторы, станции КВ-связи, лазерные траекторные измерители. Из множества точных и приближенных методов решения задач целочисленного линейного программирования (6.4), (6.5) и (6.6), (6.7) со значительной размерностью ($n$ и $m \gg 10$) применимыми на практике оказываются методы ветвей и границ, методы отсечения и эвристические методы [118, 119]. Предлагаемый алгоритм также может быть отнесен к составному алгоритму, включающему эвристический и алгоритм типа ветвей и границ для построения множества минимальных покрытий и анализа полученных решений — минимальных покрытий с целью выбора наиболее рационального из них.

Для вычисления нижней оценки (в задаче минимизации) показателя эффективности, отражающего взвешенное число ОРЛС, входящих в минимальное покрытие, строится первая ветвь решения, где на каждой генерации в матрице условий выбираются столбцы с наибольшими нормами. Это позволяет, учитывая особенности структуры матрицы исходного и минимизированных покрытий, утверждать, что вероятность получения минимального покрытия при реализации такой ветви практически равна единице. В противном случае, если окажется, что полученная оценка не дает минимального решения, то алгоритм позволяет уточнить оценку и обеспечивает обнаружение всех минимальных покрытий. Составной алгоритм включает два алгоритма, один из которых дает решение задачи определения множества минимальных покрытий, а другой — анализ и выбор рационального решения.

Первый алгоритм включает в себя выполнение ряда операций. При этом:

формируется массив исходных данных. Особую роль здесь играет матрица $\{a_{ij}\}$, строки которой образуются номерами точек области покрытия, а столбцы номерами точек возможных мест установки ОРЛС;

исключаются ОРЛС, уже установленные и закрепленные по условию задачи. Для этого их номера в матрице $\{a_{ij}\}$ исключаются;

устанавливается число ОРЛС в исходном покрытии $I_R$ и производится сравнение с полученным на данной итерации, что позволяет обрывать ветвь поиска решения;

подсчитывается норма каждой ОРЛС, т. е. число точек, покрываемое контролем;

выбирается ОРЛС с наибольшей нормой. Это позволяет данной ветви решения, использующей ОРЛС с наибольшей нормой при вероятности, близкой к единице, получить минимальное решение, что существенно сокращает объем вычислений за счет отрыва других ветвей;

проверяется условие

$$\left[\frac{N_k}{\max\,[\mathrm{NORMA}\,(N_k)]}\right]+(N_k-1)>I_R,$$

где квадратные скобки обозначают операцию определения ближайшего большего целого числа, а левая часть неравенства характеризует минимальное число итераций, которое может привести к решению, т. е. минимальное число ОРЛС, которое может оказаться в данном решении. Затем переходят к следующей итерации $N_k=N_k+1$;

формируется новый массив списков ОРЛС, путем исключения из них номера ОРЛС, вошедшего в решение данной ветви на предыдущей итерации;

подсчитывается количество списков, т. е. количество ОРЛС на данной итерации $N_k$;

проверяется условие конца решения по данной ветви $N_k=0$;

сравниваются количество ОРЛС в полученном решении с $I_R$. Практически всегда $I_R$ оказывается бо́льшим. Если же нет, то исключаются полученные ранее решения и $I_R$ присваивают новое большее значение;

записывается новое решение в список искомых минимальных покрытий. К предыдущей итерации $N_k=N_k-1$ переходят для того, чтобы проверить, нельзя ли получить из предыдущего решения новое заменой лишь последнего числа. Если сделать это не удается, осуществляется возврат еще на один шаг;

проверяется условие рассмотрения всех ветвей путем сравнения номера итерации с нулем. Положительный ответ здесь означает, что все ветви рассмотрены и совокупность минимальных покрытий найдена. Если же этого не происходит, то цикл повторяется с нового подсчета норм и далее.

Выбор оптимального решения из полученной совокупности минимальных решений определяется на практике путем анализа множества разнородных и противоречивых требований. Учет их с помощью введения комплексного критерия возможен, но связан со значительными трудностями, вызванными нестационарностью требований. Кроме того, при формировании матриц исходного радиолокационного покрытия зоны обзора ОРЛС строятся обычно с по-

мощью картографических данных, что не всегда и не в полной мере позволяет учесть влияние местных особенностей. Поэтому в качестве более простого и приемлемого метода служит сужение списка возможных вариантов покрытия за счет отбраковки решений, среди которых заведомо нет оптимальных. Окончательный выбор варианта осуществляется с привлечением дополнительных данных и экспертных оценок.

Отбраковка обычно производится по степени перекрытия радиолокационных полей и оценке суммарных экономических затрат. После отбраковки заведомо непригодных решений остальные (если их оказалось более одного) сравниваются с учетом данных о предполагаемых местах установки ОРЛС, демографических и других особенностей конкретных районов. Опыт решения показывает, что наиболее предпочтительным здесь является один из вариантов экспертных оценок [98].

Для учета удачных вариантов решений задачи размещения ОРЛС (и накопления тем самым опыта в построении комплексного показателя эффективности), получаемых с помощью экспертных оценок, необходимо формализовать процесс их изучения. Одним из вариантов такой формализации служит использование обратной задачи теории оптимальных процессов, как и в случае одного из вариантов построения показателя эффективности деятельности (см. § 4.3), когда по известному решению, принятому за оптимальное, восстанавливают показатель эффективности. Это позволяет экспертам накопить данные об учете наиболее важных факторов. Если считать, что рациональное размещение определено в виде компонент $x_j^*$ $(j=\overline{1, n})$ вектора $X^*$, то задача ставится следующим образом:

найти область допустимых значений для весовых коэффициентов $\omega_j$ показателя эффективности

$$I = \sum_{j=1}^{n} \omega_j x_j^* \tag{6.8}$$

при условии, что

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j^* \geqslant 1; \\ &(i=\overline{1,\ m};\ j=\overline{1,\ n});\quad x_j^*=0,\ 1. \end{aligned}\right\} \tag{6.9}$$

Решение такой обратной задачи оптимизации находят с помощью теоремы Фаркаша [111, 112], в соответствии с которой можно записать

$$\sum_{j=1}^{n} \omega_j x_j = \sum_{l=1}^{m_k} \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{(k)} x_j \lambda_l^{(k)}, \tag{6.10}$$

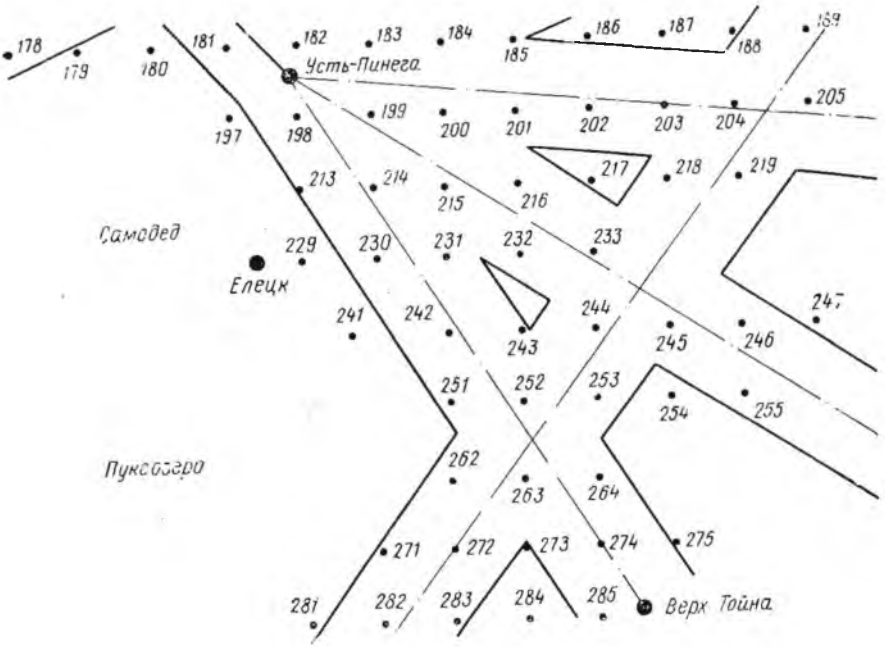



Рис. 6.1. Фрагмент сети трасс, подготовленной для построения исходной матрицы

где $j=\overline{1, m_k}$ — число ограничений — равенств в (6.9); $k$ — индекс принадлежности к $k$-му решению; $\lambda_l^{(k)}$ — неотрицательный параметр.

Равенство (6.10) справедливо для каждого $k$-го решения, поэтому

$$\omega_j=\sum_{l=1}^{m_1}\lambda_l^{(1)}a_{lj}^{(1)}=\ldots=\sum_{l=1}^{m_k}\lambda_l^{(k)}a_{lj}^{(k)}. \qquad (6.11)$$

Из этого выражения следует, что

$$\sum_{l=1}^{m_{s-1}}\lambda_l^{(s-1)}a_{lj}^{(s-1)}-\sum_{l=1}^{m_s}\lambda_l^{(s)}a_{lj}^{(s)}=0 \qquad (6.12)$$

для $(s=2, 3, \ldots, k)$ или в матрично-векторной записи:

$$A\lambda=0,$$

где $A=\{a_{lj}\}$, $\lambda=(\lambda_l^{(2)}, \ldots, \lambda_l^{(k)})'$.

Решая систему алгебраических уравнений (6.12), можно определить компоненты $\lambda_i^{(s)}$, что, в свою очередь, позволит из выражений (6.11) найти компоненты $\omega_j$. Применяя подобную процедуру

несколько раз, можно учесть опыт принятых решений и сузить области задания коэффициентов $\omega_j$ в показателях вида (6.8), (6.4).

Приведенный алгоритм используется для построения проектов системы радиолокационного контроля движения летательных аппаратов в зоне УВД районного центра в Архангельске, ряда районов Приволжского управления и в других зонах [117, 120]. В качестве примера рассмотрим некоторые фрагменты решения задачи рационального размещения ОРЛС для Архангельского районного центра. Область РЦ представлена набором из 347 точек, размещенных регулярно с шагом 20 км по горизонтали и вертикали. В качестве возможных условных мест установки ОРЛС выбраны 36 населенных пунктов. Нанеся на карту сеть трасс и других важных для УВД элементов организации, можно было бы сократить (либо увеличить) число точек. Далее осуществляется построение зон обзора ОРЛС по известным методикам [117] либо по приближенным формулам [120]. Фрагмент сети трасс приведен на рис. 6.1. С помощью полученных данных и учета возможных мест размещения ОРЛС осуществляется формирование исходной матрицы радиолокационного покрытия. Обычно матрица вводится в ЭВМ в виде списков ОРЛС, покрывающих $l$-ю точку множества $M_j$, отображающего подобласти, требующие непрерывного радиолокационного контроля в рассматриваемой области $\Omega$.

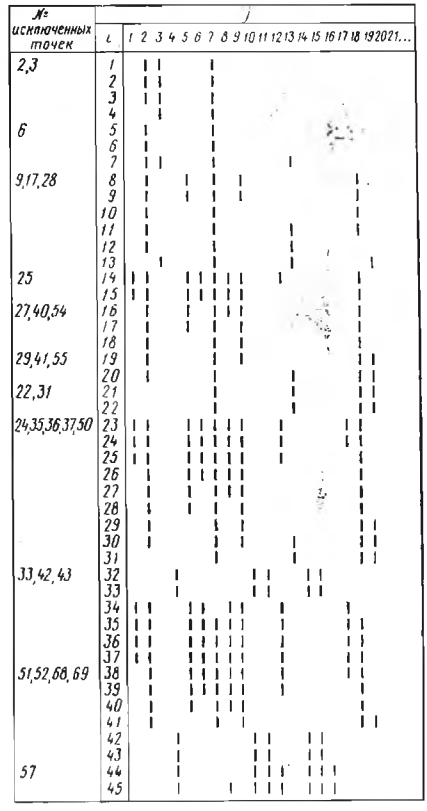



Рис. 6.2. Исходная матрица радиолокационного покрытия

Пример фрагмента одной исходной матрицы, минимизированной с помощью алгоритма минимизации ее размера, приведен на рис. 6.2. В качестве алгоритма минимизации исходной матрицы может быть использован метод, построенный с помощью известного метода доминирования Яблонского — Мак-Класски. Практически это означает исключение (поглощение) ряда идентичных строк, что соответствует случаю покрытия точки области $\Omega$ одинаковыми сочетаниями ОРЛС. Исключив в группах идентичных строк все, кроме одной, присваивают ей «вес», равный количеству строк в

группе, получая таким образом матрицу меньшего размера. Произведя учет закрепленных ОРЛС и повторив операцию поглощения строк с учетом изменения весов элементов множества $M_j$, получают минимизированную матрицу исходного покрытия. Далее используется алгоритм, описанный выше.

Полученное решение позволяет предложить рациональный проект системы контроля движения летательных аппаратов в данной зоне УВД. Как следует из вышеизложенного, значительная часть операций процесса создания такого проекта может быть автоматизирована с помощью ЭЦВМ. Вся совокупность задач и операций, образующих процесс создания системы контроля, выполняется с помощью комплекса, включающего как ЭВМ, так и группу экспертов, хорошо знающих местные условия и специфику данной зоны УВД, для которой решается вопрос создания системы контроля. Поэтому речь может идти о диалоговом решении работы исследователей с ЭЦВМ, т е. лишь о частичной автоматизации такого процесса, как процесс создания системы контроля. Такое обстоятельство в большой степени является характерным и для других процессов этапа организации УВД.

**Контрольные вопросы**

1. Поясните соотношение задачи рационального размещения РТС и процессов создания системы контроля движения летательных аппаратов.
2. В чем состоит смысл задачи рационального размещения ОРЛС?
3. Приведите формулировку задачи рационального размещения в виде задачи целочисленного линейного программирования с булевыми переменными.
4. Какой смысл заложен в применении принципа декомпозиции вообще и к рассматриваемым задачам в частности?
5. Дайте общую характеристику алгоритма решения задачи рационального размещения ОРЛС и поясните смысл основных его пунктов.
6. Поясните процедуру выбора решения из множества полученных с помощью алгоритма.
7. В чем состоит смысл применения обратной задачи оптимизации при выборе решений?
8. Поясните, как происходит формирование исходной матрицы и в чем заключается идея сокращения ее размерности.
9. Почему в настоящее время речь может идти лишь об автоматизации части задач и операций процессов организации УВД? Покажите это более подробно на примере автоматизации процесса создания системы контроля движения летательных аппаратов.

## 6.4. Автоматизация процессов деления воздушного пространства района, контролируемого системой УВД на зоны ответственности

Среди организационно-структурных решений, принимаемых на этапе организации УВД, одно из центральных мест занимают решения, обусловливающие процесс деления воздушного пространства. Отсюда ясно, что при автоматизации процессов организации УВД вообще и процессов построения рациональной структуры эле-

ментов системы УВД в частности большое внимание уделяется поискам методов и алгоритмов, позволяющих найти наилучшее деление воздушного пространства данной зоны УВД. Совокупность операций и задач, решаемых при этом, образует важнейший процесс этапа организации УВД, который определяется непосредственной взаимосвязью загруженности диспетчера с параметрами, определяющими характеристики зон УВД, на которые разделен данный район.

Поэтому в процессе деления воздушного пространства отражаются все особенности и учитываются практически все принципы организации УВД.

Большая часть задач деления воздушного пространства может быть сформулирована обычно в виде оптимизационных задач, где при заданных жестких ограничениях по безопасности полетов максимизируется пропускная способность зоны УВД либо при заданной интенсивности и пропускной способности минимизируется загруженность диспетчера [16, 28, 121, 122]. При этом следует принимать во внимание комплексный характер и всю многоплановость задач, связанных с делением воздушного пространства [123]. Так, например, применяемой на практике наиболее радикальной мерой увеличения пропускной способности зоны УВД и повышения степени безопасности полетов является организация движения с отсутствием конфликтных точек между пересекающимися потоками летательных аппаратов на трассах и в районе аэродрома. Сокращение количества и степени опасности конфликтных точек может быть достигнуто уменьшением количества существующих пересечений маршрутов на одном уровне эшелонов полета, введением таких мер, как одностороннее движение для района аэродрома, кругового движения летательных аппаратов по коридорам. Такая организация движения исключает влияние на условия полета встречных потоков, обеспечивает оптимальные условия набора и снижения летательных аппаратов в районе аэродрома и существенно влияет на загруженность диспетчера, а значит, и на процесс деления воздушного пространства.

Мерой, позволяющей обоснованно решать вопрос введения одностороннего движения по коридорам, может служить вероятность нарушения установленных интервалов эшелонирования. Если вероятность нарушения нормированных интервалов равна или больше заданной, то следует установить два коридора с односторонним движением, в противном случае — оставить один коридор со встречным движением летательных аппаратов.

На практике часто задачи деления воздушного пространства решаются в упрощенной постановке без использования вычислительных устройств, исходя при этом из общих правил, установленных документами, регламентирующими параметры районов и зон УВД. Например, для районов аэродрома с малой интенсивностью полетов определяют основные размеры зон УВД исходя из летно-технических характеристик летательных аппаратов, тактико-технических характеристик, средств УВД и т. д. Поэтому целесообразно

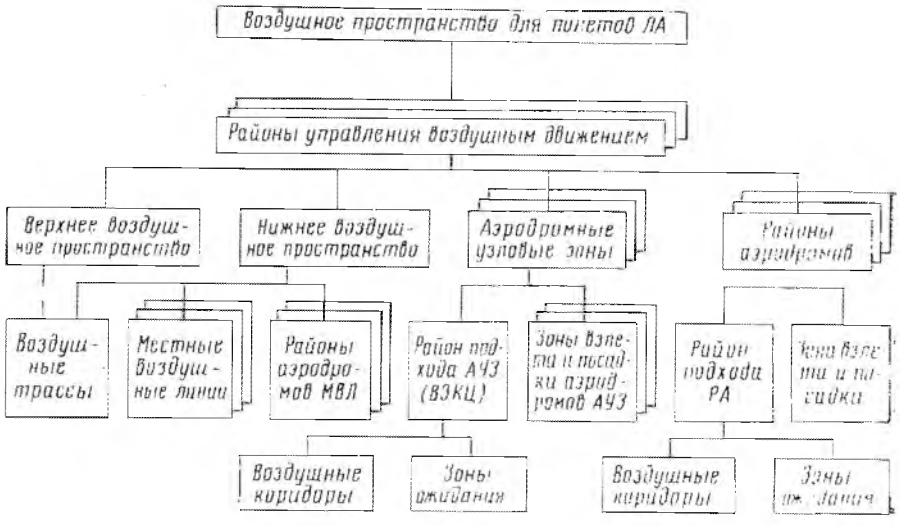



Рис. 6.3. Структурная схема деления воздушного пространства

вначале привести некоторые общие сведения о делении воздушного пространства, выделив вопросы деления района из зоны УВД с высокой интенсивностью отдельно.

Это вызвано тем, что широкое внедрение автоматизации дает наибольший эффект при решении задач рационального деления воздушного пространства в сложных зонах УВД с высокой интенсивностью воздушного движения.

Воздушное пространство страны, как правило, разделено на пространство, в котором запрещены или ограничены полеты летательных аппаратов гражданской авиации, и пространство, выделенное для полетов летательных аппаратов гражданской авиации. Воздушное пространство, выделенное для полетов летательных аппаратов гражданской авиации, в свою очередь, разделяется по характеру выполняемых полетов и принципу организации управления воздушного движения.

Схема деления воздушного пространства, выделенного для полетов летательных аппаратов гражданской авиации, по характеру выполняемых полетов разделяется на воздушное пространство для полетов по воздушным трассам, местным воздушным линиям, маршрутам вне трасс, применению авиации в народном хозяйстве (ПАНХ) и маневровые зоны аэродромов для полетов по приборам, пилотажные, испытательных полетов.

По принципу организации управления воздушным движением воздушное пространство разделено на районы диспетчерской службы (РДС) или районы ответственности районных центров Единой системы УВД (РЦ ЕС УВД) (рис. 6.3). Воздушное пространство

каждого РДС (РЦ ЕС УВД) по типовой структуре разделяется на следующие зоны УВД (рис. 6.4):

верхнее воздушное пространство — от 6100 м от уровня моря и выше;

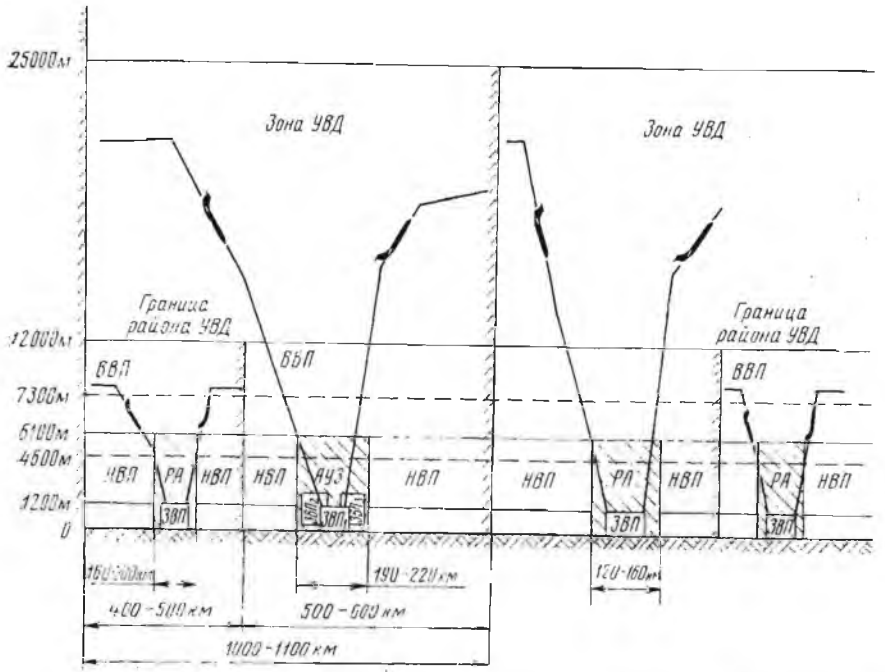



Рис. 6.4. Схема деления воздушного пространства зоны УВД по высоте

нижнее воздушное пространство — от уровня, соответствующего стандартному атмосферному давлению, до высоты 6100 м;

зоны вспомогательных радиолокационных диспетчерских пунктов (ВРДП), зоны местных воздушных линий (МВЛ) — от 0 до 1200 м (до второго безопасного эшелона полетов);

аэродромно-узловые зоны (АУЗ) и воздушные зоны крупных центров (ВЗКЦ);

районы базовых аэродромов (РА);

районы приписных аэродромов.

В зависимости от местных условий границ между нижним и верхним воздушным пространством может быть установлена и на других высотах в пределах от 4600 до 7300 м. В границах нижнего и верхнего воздушного пространства РДС (РЦ ЕС УВД) располагаются воздушные трассы, МВЛ первой категории и маршруты внетрассовых полетов. В пределах зоны МВЛ размещены районы аэродромов МВЛ, местные линии и маршруты внетрассовых поле-

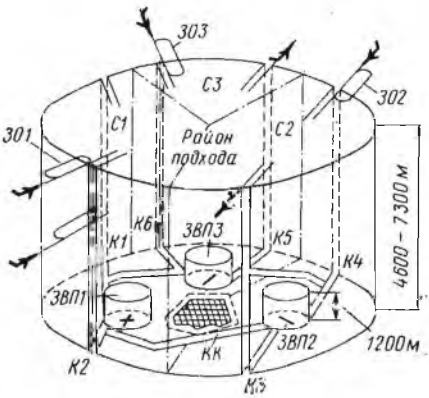



Рис. 6.5. Схема деления воздушного пространства АУЗ. Условные обозначения: *КК* — кольцевой коридор, *К1, К2, К3, К4, К5, К6* — коридоры № 1 — № 6; *С1, С2, С3* — секторы № 1 — №3; *ЗО1, ЗО2, ЗО3* — зоны ожидания № 1 — № 3; *ЗВП1, ЗВП2, ЗВП3* — зоны взлета и посадки аэродромов № 1 — № 3.

тов в зоне МВЛ. Зоны ВРДП расположены на воздушных трассах в районах, где не обеспечивается радиолокационный контроль движения летательных аппаратов с районных диспетчерских пунктов (РДП) или РЦ ЕС УВД, расположенных в базовых аэропортах РДС (РЦ ЕС УВД).

Воздушное пространство над группами близко расположенных аэродромов с общим районом полетов, организация одновременных полетов на которых требует согласования, называют аэродромно-узловой зоной (АУЗ) (рис. 6.5). АУЗ может объединять аэродромы одного или нескольких ведомств. Воздушное пространство АУЗ разделено на секторы и имеет общую для всех аэродромов зону подхода, в границах которой расположены воздушные коридоры и зоны ожидания.

Для обеспечения выхода вылетающих летательных аппаратов через любой выходной коридор и посадки прилетающих на любой аэродром при вылете с любого аэродрома в воздушном пространстве АУЗ создаются обходные (кольцевые) коридоры.

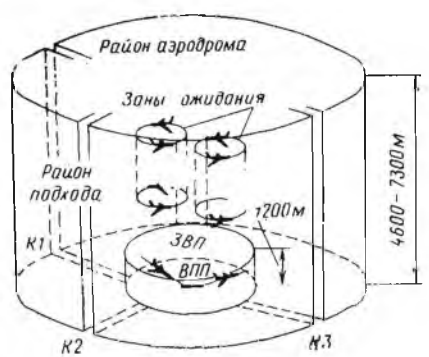



Рис. 6.6. Деление воздушного пространства района аэродрома: *К1, К2, К3* — коридор № 1 — № 3

В нижней части воздушного пространства АУЗ до высот вторых эшелонов зон ожидания расположены зоны взлета и посадки аэродромов АУЗ в форме цилиндров радиусом 25—30 км. В связи с тем, что в АУЗ создана единая зона подхода, аэродромы, входящие в состав АУЗ, не имеют своих зон подхода. По форме в пространстве АУЗ может быть представлен цилиндром, радиус которого около 80—100 км, а иногда и до 150 км и высо-

та — 6000 м. В зависимости от местных условий верхняя граница АУЗ может быть увеличена.

Район базового аэродрома, не входящего в состав АУЗ, с базированием авиаподразделений, выполняющих транспортные полеты или полеты по ПАНХ, представляет собой воздушное пространство над аэродромом и прилегающей к нему местностью в установленных границах. В воздушном пространстве района аэродрома (рис. 6.6) расположены:

район (зона) подхода, в границах которого размещены воздушные коридоры и зоны ожидания. При высокой интенсивности движения летательных аппаратов зона подхода разделяется на секторы;

зона взлета и посадки, пространство которой разделяется на три области: сектор захода на посадку, сектор набора высоты после взлета, зону полетов по кругу.

Существует значительное разнообразие в видах зон УВД, на которые разделяется тот либо иной район. В районах с высокой интенсивностью воздушного движения основным показателем эффективности при определении числа зон УВД, числа секторов в районе аэродрома может служить, например, загруженность диспетчерского состава данной зоны УВД. В качестве загрузки данной зоны УВД можно использовать меру в виде комплексного критерия вида (6.1) и учитывающего число летательных аппаратов, одновременно находящихся в зоне, и затраты диспетчера на их обслуживание за определенный интервал времени (за 1 ч, смену и т. д.).

В качестве меры загрузки диспетчера могут быть приняты и другие, более обоснованные характеристики, учитывающие качество планов полета и организации УВД в виде выбора схем полета, количество и расположение пунктов обязательных донесений и др.

Однако во всех случаях схема решения задачи рационального деления воздушного пространства останется той же [28].

При делении зоны района аэродрома на секторы УВД не предполагается обязательного включения в район аэродрома зоны секторов взлета и посадки. Установление зон ожидания, маршрутов выхода, снижения и захода на посадку в большой степени является творческим процессом и решается самостоятельно исходя из принципа разделения (либо в плане, либо по высотам) маршрутов набора и снижения применительно к местным условиям района аэродрома.

### Контрольные вопросы

1. Чем определяется важность процесса деления воздушного пространства?
2. Какие меры применяют на практике для увеличения пропускной способности зон УВД?
3. По каким признакам производят деление воздушного пространства?
4. Приведите схему деления воздушного пространства РА и АУЗ.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

## 7.1. Показатели безопасности полетов и классификация факторов и методов ее обеспечения

Любой из этапов функционирования системы УВД включает процессы, задачи и операции, главный смысл которых состоит в обеспечении безопасности полетов. Не является исключением и этап организации УВД. Перечень основных процессов этого этапа включает, например, в случае совершенствования организации УВД такие процессы, как анализ состояния безопасности полетов, рациональное деление воздушного пространства, реорганизация системы контроля движения летательных аппаратов, совершенствование работы службы движения и др. (см. рис. 1.6). При этом возникает необходимость в автоматизации этих процессов.

Необходимость в автоматизации охватывает все большее число процессов и, учитывая центральную роль обеспечения безопасности полетов, приводит к реализации системы, объединяющей их в виде автоматизированной системы управления безопасностью полетов (АСУ «Безопасность»), которая, помимо функций информационно-справочного характера, решает еще и комплекс задач оценки уровня безопасности полетов и действий по его повышению. Функции управления заключаются здесь в выработке проектов решений и мероприятий, направленных на повышение уровня безопасности полетов.

Для выяснения сущности автоматизации процессов обеспечения безопасности полетов и основ построения АСУ «Безопасность» необходимо единое толкование и понимание факторов и показателей безопасности, методов ее обеспечения при УВД, самих терминов и понятий, связанных с безопасностью полетов при УВД.

Под безопасностью полетов понимают свойство авиационной транспортной системы, заключающееся в ее способности осуществлять воздушные перевозки без угрозы для жизни и здоровья людей. Авиационная транспортная система включает в себя ряд основных подсистем, каждая из которых также является достаточно сложной системой. К ним в первую очередь относятся системы: «экипаж — летательный аппарат»; подготовка и обеспечение полетов. Каждая такая сложная система функционирует во времени, и результаты ее деятельности учитываются при анализе процессов обеспечения безопасности полетов в зависимости от решаемых задач.

Безопасность полетов является комплексным понятием, относящимся ко всей авиационной транспортной системе. Безопасностью полетов в системе УВД называют способность системы функционировать в заданных условиях таким образом, чтобы параметры системы не вышли за допустимые (безопасные ) значения. В качестве основных параметров системы, связанных с безопасностью по-

летов, служат координаты летательного аппарата, скорость и запас топлива. Обоснованием такого выбора служит то обстоятельство, что безопасность воздушного движения в части, определяемой системой УВД, зависит, например, от значений координат летательного аппарата по отношению к поверхности земли, координатам других летательных аппаратов, границам опасных метеоявлений.

Количественной характеристикой степени или условием безопасности воздушного движения можно считать выполнение системы неравенств:

$$I_\nu(X) \geqslant I^*_\nu, \tag{7.1}$$

где $\nu = \overline{1, \mu}$ — число обобщенных функций — характеристик системы; $X = (x_1, \ldots, x_n)$ — вектор состояния системы.

В качестве примера рассмотрим принятую систему эшелонирования, в соответствии с которой разность между координатами летательных аппаратов хотя бы по одной из принятых осей не должна быть менее безопасно заданной. В этом случае обобщенная функция является модулем разности значений координат.

В зависимости от целей исследования уровень безопасности полетов как у нас в стране, так и в ряде других стран, входящих в ИКАО, характеризуется целым комплексом количественных характеристик. Наиболее простыми являются абсолютные показатели, такие, как количество авиационных происшествий, количество погибших пассажиров и членов экипажей за определенный промежуток времени. Более точными можно считать показатели, приведенные к выполненному объему транспортных перевозок за определенный промежуток времени. Обобщенно такой показатель можно представить в виде

$$K_{ij}(t) = \frac{n_{ij}(t)}{L_j(t)}, \tag{7.2}$$

где $i$ — индекс вида авиационного происшествия; $j$ — индекс типа летательного аппарата; $n_{ij}$ — число авиационных происшествий $i$-го вида, имевших место с летательными аппаратами $j$-го типа за промежуток времени $t$; $L_j$ — наработка или объем работ, выполненный летательными аппаратами $j$-го типа за промежуток времени $t$.

В настоящее время имеется много показателей вида (7.2) для количественной оценки уровня безопасности полетов. Среди них необходимо выбрать такие показатели, которые позволяют давать как апостериорную, так и априорную оценку с учетом возможностей информационной базы системы и отвечают требованиям ИКАО.

Чаще всего при этом рекомендуют для оценки и анализа безопасности полетов в соответствии с требованиями ИКАО применять следующие показатели:

количество авиационных происшествий (количество полетов, в которых они происходили) $n_{АП}(t)$, где $t_0 \leqslant t \leqslant T$ — определенный календарный период времени;

количество погибших пассажиров при регулярных полетах $m(t)$;

количество АП на 100 тыс. посадок (полетов) и на 100 тыс. ч налета:

$$K_{АП}^{(n)} = \frac{n_{АП}(t)}{N_п(t)} 10^5; \quad K_{АП}^{(T)}(t) = \frac{n_{АП}(t)}{T_Σ(t)} 10^5,$$

где $N_п$ — общее количество посадок (полетов); $T_Σ$ — общий налет парка самолетов.

количество АП на 100 млн. км налета

$$K_{АП}^{(L)}(t) = \frac{n_{АП}(t)}{L(t)} 10^8,$$

где $L(t)$ — общее число километров налета;

количество погибших пассажиров на 1 млн. перевезенных пассажиров и на 100 млн. выполненных пассажиро-километров:

$$K_{ПП}^{(m)} = \frac{m(t)}{N_{пас}(t)} 10^6; \quad K_{ПП}^{(L)}(t) = \frac{m(t)}{L_п(t)} 10^8,$$

где $N_{пас}(t)$ — общее число перевезенных пассажиров; $L_П(t)$ — общее число выполненных пассажиро-километров.

Приведенные группы показателей предназначены в основном для апостериорной оценки уровня безопасности полетов. Однако они позволяют прогнозировать характеристики уровня безопасности на основании данных о средних значениях, например среднегодовых с учетом тенденций к их изменению.

Для статистической оценки вероятности появления авиационных происшествий или предпосылок к ним можно при автоматизации использовать следующие критерии:

вероятность появления происшествий в любом по продолжительности полете $P_{АП}(t) = \frac{n_{АП}(t)}{N_п(t)}$;

средний налет на одно происшествие или предпосылку:

$$T_{АП} = \frac{T_Σ(t)}{n_{АП}(t)}; \quad T_Σ(t) = \sum_{s=1}^{n} t_{АПs},$$

где $t_{АП\,s}$ — налет $s$-го летательного аппарата до происшествия либо предпосылки к нему; $n$ — количество летательных аппаратов рассматриваемого типа.

Если принять справедливым экспоненциальное распределение времени появления авиационных происшествий, то вероятность появления оценивается зависимостью $P_{АП}(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T_{АП}}}$.

Накапливаемые таким образом статистические данные позволяют в идеальном случае образовать информационную базу показа-

телей, с помощью которой можно проводить статистические анализы влияния различных причин и факторов на уровень безопасности полетов. Для этого могут использоваться статистические оценки вероятности появления происшествий или предпосылок по $j$-й причине, если число их достаточно велико для того, чтобы считать допустимым вероятностный подход (в случае вступления в силу закона «больших» чисел)

$$P_{\text{пр}\,j}(t) = \frac{n_{\text{АП}}(t) + n_{j\,\text{ПАП}}(t)}{N_n(t)}.$$

Если это удастся, то использование приведенных соотношений позволит производить автоматизированную оценку безопасности полетов как для авиации в целом, так и по отдельным службам (службе движения, подразделениям вплоть до объединенного отряда, комплексам и системам), а также вычислять значения показателей по всем видам авиационных происшествий и предпосылкам к ним на различных интервалах календарного времени.

Для априорной оценки безопасности полетов иногда вводят понятие вероятности безопасного полета, определяемую по характеристикам надежности $i$-х исследуемых систем $h_{ij}^{(s)}(t)$ в $j$-й ситуации и $s$-м полете, характеристикам их состояний $x_{ij}^{(s)}(t)$ и показателям эффективности $I_{\text{э}}^{(s)}$:

$$P_{\text{БП}}(t) = f\left[x_{ij}^{(s)}(t),\ h_{ij}^{(s)}(t),\ I_{\text{э}}^{(s)}\right].$$

Поскольку $x_{ij}^{(s)}(t)$, $h_{ij}^{(s)}(t)$ и $I_{\text{э}}^{(s)}$ могут быть определены как для эксплуатирующихся, так и для вновь создаваемых систем, таких, как АС УВД, то функция $P_{\text{БП}}(t)$ пригодна для оценок приближенных значений априорной и апостериорной безопасности полетов.

Целый ряд показателей безопасности полетов также тесно связан с вероятностными характеристиками теории надежности и характеризует время невыхода параметров за допустимые значения, т. е. время выдерживания условий (7.1). Для оценки безопасности полетов подсистемы «диспетчер — экипаж — летательный аппарат» может быть использован показатель, у которого функция $f[x, h, I]$ имеет вид:

$$P_{\tilde{\nu}}(t) = 1 - \lim \frac{m_{\nu}(t)}{N(t)},\quad \nu \in [k,\ a,\ \text{П},\ \text{ПП},\ y], \tag{7.3}$$

где $m_{\nu}$ — количество полетов с $\nu$-ым событием; $\nu$ — событие, характеризующее исход полета типа катастрофы (к), аварий (а), авиационного происшествия (п), предпосылки к нему (пп), усложнения (у); $\tilde{\nu}$ — событие, противоположное $\nu$; $N(t)$ — общее количество полетов за время $t$.

Использование статистических показателей (7.2), (7.3) чаще всего позволяет получить интегральную оценку уровня безопасности полетов лишь с учетом всех причин авиационных происшествий без деления их на группы, так как в противном случае, строго го-

воря, нарушается объективность применения статистических критериев. Это обусловлено тем, что с увеличением числа групп факторов уменьшается вероятность появления «больших» статистик, что затрудняет применение гипотезы о законе «больших» чисел.

При значительной доле внетрассовых полетов в определенной зоне УВД безопасность воздушного движения характеризуется вероятностью столкновений либо опасных сближений. Если число столкновений (опасных сближений) летательных аппаратов обозначить через $E$, то может быть использован показатель вида

$$E = k(t)\,\Lambda^2,$$

где $\Lambda$ — параметр, характеризующий интенсивность движения;
$k$ — коэффициент пропорциональности, учитывающий параметры системы УВД (применяемые методы УВД, технические средства, характеристики ЛА и т. д.).

Каждая из приведенных количественных характеристик безопасности воздушного движения используется в определенных условиях. Характеристики, базирующиеся на вероятностном подходе, требуют тщательного обоснования. Дело в том, что методологической основой применимости вероятностных оценок служит наличие массовых однородных случайных явлений. Полет самолетов и работа элементов системы УВД осуществляются в условиях относительно редких отказов и сбоев, причины которых нестабильны. Поэтому о статистической устойчивости не может быть и речи, по крайней мере она непроверяема экспериментально. При обнаружении опасных ситуаций в практике УВД принимаются меры по выявлению и устранению причин, приводящих к ним. Это меняет весь статистический механизм возникновения подобных событий. В силу этого вероятностные характеристики безопасности полетов, относящиеся к системе УВД, могут быть использованы чисто гипотетически.

Сложность проблем количественной оценки уровня безопасности воздушного движения во многом обусловлена необходимостью учета большого количества внутри- и внесистемных факторов различной физической природы, таких, как интенсивность и характер потоков летательных аппаратов, структура воздушного пространства в зоне УВД, оснащенность зон УВД радиотехническими средствами, метеорологические условия, укомплектованность смен диспетчерским составом, условия работы диспечеров и т. д. Показатель безопасности полетов при УВД должен: учитывать влияние наиболее весовых факторов; быть информативным, т. е. отражать эффективность проведения тех или иных организационно-технических мероприятий по повышению уровня безопасности воздушного движения в конкретной зоне (районе) УВД; быть эффективным в смысле использования на всех этапах функционирования системы УВД.

Рассмотрим один из возможных вариантов показателя безопасности воздушного движения, удовлетворяющего этим требованиям. Пусть, например, каждый из информационных факторов учитыва-

ется частным показателем $I_i$. Система УВД относится к системам жизнеобеспечения. Деятельность ее вследствие «возмущений» протекает в условиях неопределенности. Альтернативой «вероятностной» безопасности при этом является гарантированная безопасность, когда при оценке состояния $i$-го фактора $S_i$ применяют гарантийный подход, что предполагает ее определение в расчете на «наихудший» случай.

Гарантийные оценки $S_i$ можно представить в виде:

$$S_i' = \max_u \min_v S_i \text{ при } \max S_i \to S_i^{(0)}$$

или

$$S_i' = \min_u \max_v S_i \text{ при } \min S_i \to S_i^{(0)},$$

где $u$ — вектор, образованный компонентами-параметрами управления; $v$ — вектор-стратегия «возмущений»; $S_i^{(0)}$ — оценка потенциально-достижимого состояния $i$-го фактора.

Очевидно, что $S_i^{(0)}$ может быть найдено из экстремальной модели исследуемого фактора. В этом случае оценка производится в расчете на «наилучший» случай, т. е. моделирование осуществляется в предположении полной или статистической определенности. В качестве частного показателя $I_i$ вводится нормированный критерий:

$$I_i = I_i\left(\frac{S_i'}{S_i^0}\right).$$

Предполагая в каждый момент оценки независимость факторов, определяющих показатель гарантированной безопасности полетов при УВД, сформулируем его в виде

$$J_{\Sigma}^{(\text{БП})} = \sum_{i=1}^{k} \omega_i I_i + \sum_{i=k+1}^{n} G_i, \tag{7.4}$$

где $G$ — функционал, учитывающий некоторые неформализуемые факторы; $\omega_i$ — весовой коэффициент $i$-го фактора; $\{k+1, k+2, \ldots, n\}$ — множество неформализуемых факторов.

Классификация факторов, определяющих безопасность воздушного движения и методов ее обеспечения, возможна по целому ряду признаков.

Необходимость четкой классификации факторов диктуется требованиями однозначной их адресации при занесении в память ЭВМ при автоматизации процессов обеспечения безопасности полетов. Если ограничиться рассмотрением таких предпосылок к авиационным происшествиям как опасные сближения летательных аппаратов в полете, достаточно полно характеризующих состояние безопасности полетов при УВД, то большинство причин и факторов, приводящих к ним, можно классифицировать как организацион-

ные, планирования, эргономического характера и технические факторы.

Проведем общее рассмотрение факторов и оценку уровня и влияния организации УВД, организационных факторов и методов, обеспечивающих гарантированную безопасность полетов при УВД. Применительно к службе движения гражданской авиации СССР такими методами служит введение: общих принципов организации УВД в воздушном пространстве СССР; единых правил и режимов полетов; единой системы минимумов аэродромов для взлета и посадки летательных аппаратов; обеспечения полетов необходимой заправкой топлива; единой системы эшелонирования летательных аппаратов; безопасных высот полета летательных аппаратов; единых минимумов при обходе зон опасных метеоявлений; единой системы воздушных трасс, местных воздушных линий и типовых схем движения в РА и др.

Аналогичным образом можно ввести и более детальную классификацию факторов и методов обеспечения безопасности полетов, раскрывая тем самым сущность каждого из перечисленных методов. Сбор и обработка информации по каждому из них тогда существенно упростится и может быть осуществлена автоматически с помощью внедрения специальных бланков-карточек, сведения на которых считываются машиной.

Степень детализации факторов при автоматизации информационного обмена определяется в основном компромиссным решением при борьбе двух тенденций — с одной стороны, стремлением как можно более подробно и детально исследовать выделенную причину и фактор, а с другой — учесть возможную потерю необходимого для статистики количественного уровня авиационных происшествий по каждой из них и возрастание временных затрат ЭВМ при наращивании детализации факторов. Перечень учитываемых факторов и их детализация определяется поэтому каждый раз особо для каждого из случаев автоматизации процессов.

### Контрольные вопросы

1. В чем состоит основное направление автоматизации процессов обеспечения полетов?
2. Что понимается обычно под понятием «безопасность воздушного движения»? Приведите толкование этого понятия применительно к системе УВД.
3. Перечислите основные особенности воздушного движения, влияющие на обеспечение безопасности полетов при УВД.
4. Перечислите основные количественные характеристики безопасности воздушного движения.
5. В чем состоят трудности применения вероятностных методов при оценке уровня безопасности полетов при УВД?
6. Сформулируйте основные требования к показателю безопасности полетов при УВД?
7. Что понимается под термином «гарантированная безопасность»?
8. Дайте классификацию и приведите примеры основных групп факторов, обусловливающих состояние безопасности полетов при УВД.
9. Каковы основные принципы и методы обеспечения гарантированной безопасности воздушного движения?
10. Что определяет степень детализации факторов, обусловливающих состояние безопасности полетов?

## 7.2. Автоматизированная система управления безопасностью полетов и ее структура

Автоматизация охватывает этап организации УВД практически во всех процессах. Так, например, 1976 г. в ИКАО явился годом перехода к автоматизированным методам обработки данных об авиационных происшествиях и предпосылках к ним. Поступающие сведения о происшествиях и предпосылках к ним начинают обрабатывать на электронно-вычислительном комплексе автоматизированной системы управления безопасностью полетов АСУ «Безопасность». В АСУ «Безопасность», кроме автоматизации функций информационно-справочного характера, решается комплекс задач оценки уровня и анализа факторов безопасности полетов, а также автоматизируются процессы разработки проектов решений, направленных на повышение этого уровня, т. е. решаются задачи автоматизации управления факторами, определяющими уровень безопасности полетов.

Вся деятельность гражданской авиации как авиационно-транспортной системы направлена на управление факторами, определяющими уровень безопасности полетов. Исходной информацией в системе являются материалы расследования авиационных происшествий и предпосылок к ним, статистические данные о возникших отказах авиационной техники и отклонениях в деятельности личного состава гражданской авиации от требований руководящих документов.

Операции учета, хранения, обработки и анализа больших массивов этой информации по определенным алгоритмам целесообразно осуществлять с использованием ЭВМ. АСУ «Безопасность» создана на базе существующей системы путем применения методов повышения уровня безопасности полетов, основанных на автоматизации исследований состояния систем обеспечения полетов и УВД с использованием информационно-вычислительной сети гражданской авиации. Она, как и всякая система управления, включает управляемую и управляющую подсистемы, между которыми происходит информационное взаимодействие. Эти подсистемы находятся во взаимодействии с окружающей средой и метасистемой, представляющей собой систему более высокого ранга. Метасистемой для АСУ «Безопасность» является отраслевая АСУ гражданской авиации, а средой — Госавианадзор, НИИ ГА, организации промышленности, связанные с гражданской авиацией и ИКАО.

Система управления факторами безопасности полетов имеет три иерархических уровня: объединенный авиаотряд (ОАО); управление гражданской авиации (УГА); МГА. Соответственно по иерархическим уровням система управления факторами безопасности полетов включает:

контур управления деятельности авиационных комплексов внутри ОАО (объект управления — службы ОАО, управляющий орган — руководящий состав соответствующих служб);

контур управления деятельностью авиационных предприятий внутри УГА (объект управления — ОАО, управляющий орган — руководящий состав и отделы УГА).

контур управления деятельности всей ГА (объект управления— УГА и ОАО, управляющий орган — руководящий состав и управления МГА).

В ряде случаев при взаимоотношениях МГА с организациями промышленности или НИИ ГА решаются задачи выполнения требований или заданий МГА по отношению уровня безопасности полетов. В этих случаях последние выделяются из среды и включаются в объект управления, т. е. образуются дополнительные контуры управления. Следовательно, АСУ «Безопасность» является самонастраивающейся адаптивной системой, поскольку ее структура меняется в зависимости от решающих задач или режимов работы, что улучшает качество ее функционирования.

Все множество факторов, определяющих уровень безопасности полетов в ГА, можно обобщить в классы: надежность работы авиационных эргатических систем, в число которых попадает и система УВД, и эффективность функционирования средств обеспечения безопасности полетов по предотвращению аварийных (конфликтных) ситуаций. В свою очередь, эффективность средств обеспечения безопасности полетов может зависеть от группы других факторов, обеспечивающих безопасность полетов при УВД. Характеристики надежности элементов могут определяться методами теории надежности по информации об отказах технических устройств и отклонениях действий человека-оператора от требований руководящих документов. Их можно рассматривать как управляемые координаты при повышении надежности авиационных эргатических систем.

Эффективность систем обеспечения безопасности полетов определяется их структурой с параметрами. Таким образом, повышение уровня безопасности полетов можно осуществлять путем увеличения надежности работы авиационных эргатических систем и повышения эффективности систем обеспечения полетов.

Главная цель управления безопасностью полетов — исключение авиационных происшествий и предпосылок к ним при осуществлении летной деятельности распадается на ряд подцелей, достижение которых обеспечивается подразделениями ГА различными способами. В результате деятельности ГА происходят события, характеризующие определенный уровень безопасности полетов. При этом осуществляется сбор информации об этих событиях и формирование информационной базы, массивы которой распределяются по вычислительным центрам иерархических уравнений. Используя имеющиеся данные, осуществляется информация лиц и организаций, принимающих и контролирующих решения, а также разрабатывающих проекты мероприятий по повышению надежности АЭС и эффективности систем обеспечения полетов. Лица, ответственные за принятие решений после априорной оценки, вводят в действие наиболее эффективные мероприятия. Таким образом, модель про-

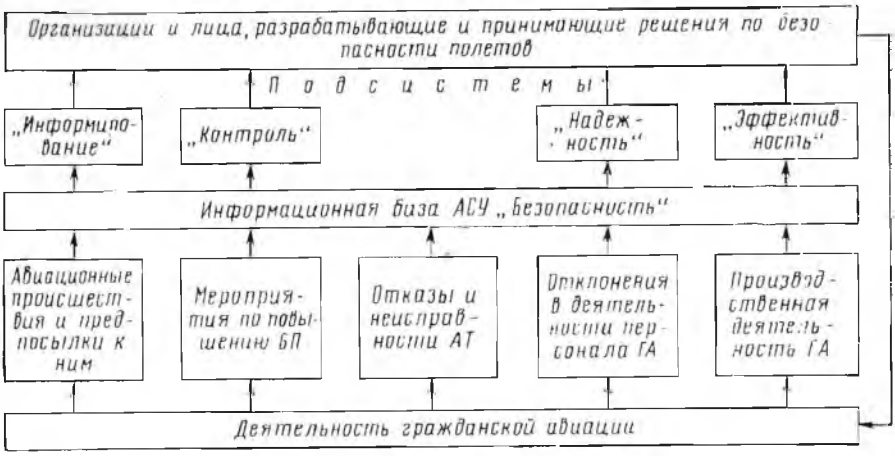



Рис. 7.1. Функционально-организационная структура АСУ «Безопасность»

цесса управления факторами безопасности полетов включает в себя основной контур управления, в котором объектом управления является авиапредприятие (ОАО), а основной управляемой координатой служит уровень безопасности полетов, и дополнительный контур управления, в котором объектом управления является организация-разработчик проектов мероприятий по безопасности полетов, а основной управляемой координатой является качество разрабатываемых мероприятий. Система работает в режиме слежения за фактическим состоянием уровня безопасности полетов и обеспечивает предупреждение снижения этого уровня. Перспектива развития функциональной структуры АСУ «Безопасность» определяется множеством задач, решаемых системой. Все множество задач сгруппировано в отдельные комплексы, которые и определяют подсистемы АСУ «Безопасность». Один из возможных вариантов функциональной структуры системы, разработанной в ЦНИИ АСУГА, представлен на (рис. 7.1). Подсистема «Информирование» предназначена для оперативного представления необходимой информации по безопасности полетов и решает задачи оперативного ввода в ЭВМ исходной информации с входных документов системы, обеспечения диалога пользователя с ЭВМ для получения необходимой информации по безопасности полетов.

Подсистема «Надежность» предназначена для решения комплекса задач обеспечения заданного уровня надежности авиационной эргатической системы. В данной подсистеме создаются массивы количественных характеристик надежности типовых элементов системы, производится оценка систем по показателям надежности, разработка проектов мероприятий по повышению надежности и их реализация.

Подсистема «Эффективность» предназначена для решения комплекса задач поддержания заданного уровня эффективности систем

обеспечения безопасности полетов. В этой системе оценивается качество функционирования систем обеспечения безопасности полетов различных авиационных эргатических систем, оптимизация их структур и параметров.

Подсистема «Контроль» предназначена для осуществления контроля выполнения проводимых мероприятий по повышению уровня безопасности полетов.

Источником информации для всех подсистем служит информационная база, которая формируется на магнитных носителях из показателей и событий деятельности ГА. В качестве исходной информации в АСУ «Безопасность» используются достаточно обширные и достоверные статистические данные о событиях, характеризующих безопасность полетов: авиационные происшествия и предпосылки к ним, повреждения летательных аппаратов, отказы и неисправности авиационной техники, отклонения в деятельности летного состава, персонала УВД и подразделений, обеспечивающих полеты, от требований руководящих документов (ошибки, нарушения, потеря трудоспособности, несоответствие условий ситуации человеческим возможностям). Для реализации на ЭВМ алгоритмов количественной оценки уровня безопасности полетов, анализа влияния на безопасность полетов различных факторов, разработки проектов мероприятий по безопасности полетов создается система унифицированной документации и информационная база АСУ «Безопасность» на машинных носителях, что составляет информационное обеспечение системы. Унификация входной информации осуществляется в соответствии с руководствами по кодированию информации.

В первой очереди АСУ «Безопасность» вся информация распределена по совокупности разделов, содержащих множество показателей. По каждому авиационному происшествию и предпосылкам могут быть получены следующие данные: общие сведения о событии — ряд показателей, характеризующих события (столкновение, опасное сближение летательных аппаратов); информация о персонале по УВД; связи с летательным аппаратом; метеорологической информацией и ряд других показателей. Разработанный для первой очереди системы АСУ классификатор является основой для создания классификаторов новых комплексов задач путем развития соответствующих разделов. Отображение результатов решения задач в АСУ «Безопасность» ограничивается пока формированием выходных документов по запросам пользователей, или периодической выдачей установленных форм анализа безопасности полетов. В качестве критериев безопасности в АСУ «Безопасность» используются абсолютные и относительные статистические показатели, частично рассмотренные ранее в § 7.1.

При работе ЭВМ в режиме диалога в реальном масштабе времени применяются видеотерминалы и обеспечивается одновременная распечатка результатов на бумаге. Формы входных документов разрабатываются на основании экспертных оценок информационных потребностей пользователей.

Основные преимущества АСУ «Безопасности», обеспечивающие ее эффективность, заключаются: в увеличении глубины статистических анализов безопасности полетов за счет увеличения в десятки раз количества показателей, которые характеризуют безопасность полетов; в повышении достоверности информации за счет формализованного описания событий и машинной обработки данных; в повышении оперативности управления факторами, определяющими уровень безопасности полетов, за счет сокращения времени обработки информации и формирования мероприятий по повышению безопасности полетов.

**Контрольные вопросы**

1. Сформулируйте основные задачи, решаемые автоматизированной системой управления безопасностью полетов.
2. Каковы объективные предпосылки создания АСУ «Безопасность»?
3. Сформулируйте принципы построения АСУ «Безопасность» и приведите один из вариантов общей функциональной схемы АСУ «Безопасность».
4. Что является объектом управления и управляемыми координатами в рассматриваемой системе?
5. Перечислите основные подсистемы АСУ «Безопасность» и их функции.
6. Каковы основные преимущества АСУ «Безопасность»?
7. В чем состоят основные тенденции развития и совершенствования АСУ «Безопасность»?

## 7.3. Вопросы организации режима диалога в АСУ

При автоматизации процессов на этапе организации УВД немалую роль занимают вопросы реализации диалоговой работы исследователя, осуществляющего поиск, выбор и обоснование организационного решения с ЭВМ, являющейся носителем массивов информации, средством быстрой и качественной ее обработки и представления вариантов решения. Автоматизированная система управления безопасностью во всех существующих и разрабатываемых вариантах принципиально предполагает оставить ведущую роль за исследователем-оператором, проводящим анализ результатов, коррекцию моделей, выбор вариантов исходной информации и принятие окончательных решений. Основное преимущество диалогового режима работы любой АСУ состоит в разделении функций таким образом, что каждая из частей комплекса «исследователь — ЭЦВМ» выполняет те функции, в которых она имеет явные преимущества.

Рассмотренные ранее факторы и показатели оценки исследований уровня безопасности полетов предназначены в основном для использования их в АСУ «Безопасность» при функционировании системы режима диалога исследователя с ЭЦВМ. На рис. (7.2) приведена в общем виде схема, которая содержит основные моменты работы комплекса «исследователь — ЭЦВМ» в режиме диалога. Ее можно условно разделить на части: в первой (правой) показаны функции, выполняемые человеком (исследователем-оператором), во второй (левой) — функции, выполнение которых возможно на ЭЦВМ.

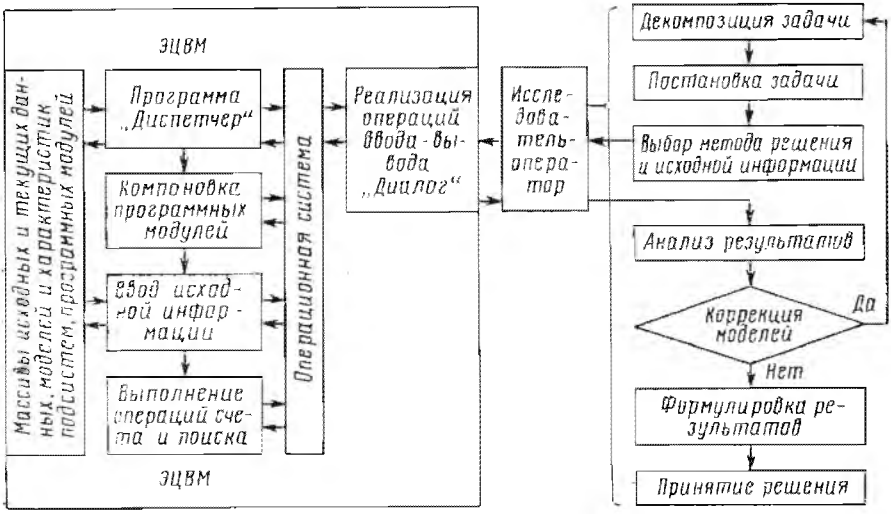



Рис. 7.2. Функциональная блок-схема реализации диалогового режима работы исследователя и ЭЦВМ в АСУ

Работа общего алгоритма, реализующего диалоговый режим, начинается с разделения сложной задачи на ряд простых и постановки конкретной, простой задачи и определения целей исследования. Далее исследователь-оператор выбирает необходимую ему модель условий задачи и метод ее решения, а также определяет число возможных состояний авиационной эргатической системы и средств обеспечения безопасности, достаточных для решения задачи. Эти операции не автоматизируются, так как относятся к творческой деятельности исследователя и основаны на его опыте и интуиции, подкрепленных знаниями прикладных вопросов теории исследований операций, конкретных характеристик исследуемых систем и средств.

Поскольку число различных видов моделей процессов, задач и операций не так уж велико, а количество возможных состояний для каждой системы зависит от характера решаемой задачи, то в ряде случаев может оказаться целесообразным иметь на машинном носителе специальный массив вариантов типовых состояний для данной исследуемой системы в виде, например, марковских моделей с дискретным и непрерывным временем либо других моделей в ином удобном виде.

Исходные данные для выбранной модели и соответствующего варианта состояний авиационных эргатических систем и средств обеспечения безопасности выбираются из массивов характеристик надежности типовых элементов, характеристик их состояний и эффективности, которые постоянно хранятся на машинных носителях АСУ «Безопасность», периодически корректируются и обновляют-

ся. Обращение к этим массивам оператор осуществляет через дисплей, с помощью которого осуществляются операции ввода-вывода в режиме «Диалог». Промежуточные результаты, требующие ручной обработки, анализа и ввода в ЭВМ, могут по требованию исследователя выдаваться на печать или графопостроитель. Действия оператора в процессе диалога обычно реализуются в ЭЦВМ специальной программой «Диспетчером», которая выполняет следующие функции: обращается к массиву программных модулей; выбирает модули, необходимые для решения задачи; компонует из выбранных модулей рабочие программы; обращается к внешним машинным носителям за исходной информацией; выводит рабочие программы на редактирование и счет.

Далее исследователь анализирует результаты, корректирует их, делает выводы и принимает решение.

Для получения необходимого положительного результата может потребоваться выполнение нескольких итераций. Чаще всего они связаны с недостаточно полным составом моделей и условий задачи. Поэтому при коррекции исследователь обычно производит разделение сложной задачи, что показано на рис. 7.2 в виде обратной связи.

С помощью АСУ «Безопасность» можно проводить статистические исследования на ЭЦВМ. Они позволяют сформировать информационную базу системы, которая служит основой подсистем (см. рис. 7.1). Такие статистические исследования могут выполняться для решения следующих конкретных задач: разработки алгоритмов обоснования требований к надежности авиационных эргатических систем (в том числе и системы УВД) и эффективности мероприятий и средств обеспечения безопасности исходя из допустимого уровня безопасности полетов, записанного, например, в форме (7.1); сравнительной оценки различных мероприятий и средств обеспечения безопасности и выбора оптимальных схемных решений, используя для этого показатель, например, в виде (7.4); исследований влияния различных факторов на уровень безопасности полетов по совокупности показателей (7.1) — (7.4).

В соответствии с фунционально-организационной структурой АСУ «Безопасность» (см. рис. 7.1) эти задачи решаются на всех уровнях МГА при выработке требований к разработчикам авиационных комплексов и систем.

Процесс исследований в условиях АСУ «Безопасность» целесообразно осуществлять путем диалога исследователя с ЭЦВМ по подготовленным заранее программам, в которых реализуются алгоритмы решения, например, перечисленных конкретных задач. Этот путь является перспективным, так как предусматривает возможность наращивания комплекса задач посредством развития машинных банков данных и библиотек программ.

Исследователь в диалоге с ЭЦВМ осуществляет ввод данных в готовые программы, получает и анализирует результаты решения задач. Степень связи исследователя с ЭВМ при этом может быть

различной. Например, можно выделить три следующих характерных случая.

1. Исследователь сам готовит и вводит исходные данные в соответствии с требованиями программ. В этом случае он должен знать правила упорядочения данных, расположение последних и форматы.

2. Все работы по подготовке и вводу данных производятся автоматически. В этом случае должны применяться специальные массивы исходных данных на машинных носителях и необходимые управляющие программы. От исследователя здесь не требуется высокой квалификации по работе с ЭВМ, что является несомненным достоинством этого случая. Однако возможности исследователя производить варьирование исходными данными при этом ограничены составом управляющих программ и фиксированным набором данных.

3. Исходные данные в подготовленном виде находятся вне ЭЦВМ. Ввод данных в программы осуществляется исследователем. В этом случае функции исследователя существенно расширены, он может варьировать исходными данными, систематизировать и редактировать их в соответствии с требованиями, предъявляемыми к решаемым задачам.

По-видимому, возможны и другие варианты и случаи взаимодействия исследователя с ЭЦВМ. Наиболее характерным свойством диалогового режима работы является то, что практически в любом из случаев его реализации за исследователем всегда оставляют так называемые «творческие» функции, так или иначе связанные с применением принципа декомпозиции. Это видно при постановке задачи, выборе варианта исходной информации, анализе результатов и выборе решения.

На машинную часть диалогового комплекса всегда стараются возложить рутинную часть работы. Это прежде всего комплектация, первичная и последующая обработки исходной информации, решение типовых задач, проведение большого числа вычислений. В АСУ «Безопасность» к таким функциям относится проведение статистических исследований. При этом ясно, что и процесс статистических исследований в условиях АСУ «Безопасность» целесообразно осуществлять путем диалога исследователя с ЭЦВМ по готовым программам, реализующих алгоритмы решения совокупности наиболее трудоемких задач, с которыми справляется ЭЦВМ. Этот путь позволяет осуществлять наращивание количества подобных задач, образуя комплексы их по ситуациям, системам и т. д. Такое наращивание происходит путем развития машинных банков данных и библиотек стандартных программ и подпрограмм. Связь исследователя с ЭЦВМ должна обеспечивать возможность варьирования совокупностью исходных данных, применяя принцип декомпозиции, а также производить систематизацию и редактирование их в соответствии с требованиями конкретных решаемых задач.

**Контрольные вопросы**

1. В чем состоит основное преимущество диалогового режима работы АСУ?
2. Приведите функциональную блок-схему реализации диалогового режима работы исследователя и ЭЦВМ в АСУ.
3. Дайте описание работы общего алгоритма, реализующего диалоговый режим.
4. Перечислите основные функции программы-диспетчера в общем алгоритме реализации диалогового режима.
5. С какой целью проводятся статистические исследования в АСУ «Безопасность»?
6. Какие характерные случаи связи исследователя с ЭЦВМ можно назвать при диалоговом режиме работы АСУ?
7. Что может служить наиболее характерным свойством диалогового режима?

## 7.4. Автоматизация процессов и гарантийный подход к оценке уровня безопасности полетов

Одним из основных вопросов автоматизации процессов обеспечения безопасности полетов, как и других процессов этапа организации УВД, является разработка математического обеспечения. Большую роль здесь играют показатели и методы их оценки, при использовании которых автоматизация дает наибольший эффект.

Разработка современных и перспективных систем УВД предполагает наличие уровня производительности системы и ее элементов с соответствующим резервом с тем, чтобы условие гарантированного обеспечения безопасности полетов сохранялось в периоды часов пик и различных аномалий воздушного движения. Это требование приводит к необходимости использования гарантийных оценок уровня безопасности полетов как на стадии проектирования, так и в период эксплуатации систем УВД [3, 16, 27]. Здесь особое внимание уделяется использованию таких оценок при автоматизации процессов организации УВД. Гарантийная оценка организационного уровня безопасности полетов при УВД может быть выражена с помощью показателя:

$$J^{(1)} = \min_{u} \max_{v} \sum_{j} \omega_j I_j = \min_{u} \max_{v} I_{\Sigma}; \qquad (7.5)$$

$$u = \{L\}' \in \{L\};\ v \in \{\lambda,\ p,\ h\},$$

где $\omega_j$ — весовые коэффициенты ситуаций; число потенциально конфликтных из них определяется $I_j$, например, при пересечении маршрутов, догоне, смене эшелонов и др.; $\lambda$ — интенсивности потоков воздушных судов в данной зоне УВД; $p$ — параметр, учитывающий летно-технические характеристики воздушных судов; $h$ — параметр, учитывающий состояние внешней среды, например метеоусловия, запреты и ограничения полетов и т. д.

Для определения $J^{(1)}$ можно предложить использование теории матричных игр. Для этого в качестве простейшей модели рассмат-

ривается игра двух яиц с нулевой суммой. Первый игрок выбирает варианты организации воздушного движения в зоне, т. е. $u_i = \{L\}' \in \{L\}$, стремясь минимизировать число потенциально конфликтных ситуаций. Задача второго игрока, в качестве которого выступает сложившаяся ДВО, заключается в выборе наихудшего варианта ситуаций из класса возможных, т. е. $v_j \in \{\lambda_i, p, h\}$, максимизирующего при этом $I_j$. Платежная матрица игры будет иметь вид:

$$\begin{array}{cccc} & v_1 & \dots v_j & \dots v_n \\ u_1 & a_{11} & \dots a_{1j} & \dots a_{1n} \\ \cdot & \cdot & & \\ \cdot & \cdot & & \\ \cdot & \cdot & & \\ u_i & a_{i1} & \dots a_{ij} & \dots a_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ u_m & a_{m1} & \dots a_{mj} & \dots a_{mn}, \end{array}$$

где $a_{ij} = I_{ij}(u_i v)$ при $i$-й стратегии первого игрока и $j$-й второго; $u_i$ — возможные варианты организации воздушного движения (стратегии первого игрока); $(j = \overline{1, n})$ — возможные виды ситуаций или в общем случае их комбинации (стратегии второго игрока).

Известно, что матричная игра двух игроков с нулевой суммой всегда имеет решение либо в смешанных, либо в частных стратегиях. Тогда найденное решение

$$\min_i \max_j I_\Sigma(u_i v_j) = J^{(1)}, \quad (i = \overline{1, m};\ j = \overline{1, n}),$$

и будет являться гарантийной оценкой организационного уровня безопасности полетов в данной зоне УВД. Алгоритмизация и получение такой оценки с помощью ЭЦВМ при наличии стандартных программ анализа решения игровых задач не являются принципиальными затруднениями при автоматизации обработки данных и тем более в диалоговом режиме.

Если в АСУ «Безопасность» либо в памяти ЭЦВМ другого назначения имеется априорная статистика о частости (вероятности) ситуаций — возмущений $v_j$ $(j = \overline{1, n})$ в данной конкретной зоне УВД, то может быть получена оптимальная (экстремальная) оценка $I^\circ$ организации воздушного движения в данной зоне с помощью решения соответствующей игры из класса статистических либо общими методами решения матричных игр в смешанных стратегиях [91, 94]. Критерий, определяющий качество организационных решений, $J = \dfrac{I_\Sigma^{(1)}}{I_\Sigma^{(0)}}$.

Несмотря на то, что гарантийные оценки всегда являются оценками с запасом, такое приближение для системы УВД, призванной

обеспечивать безопасность полетов, является вполне оправданным [16, 28].

Достоинством предложенного подхода является нормирование критериев относительно реально достижимых уровней, что позволяет достаточно объективно выделить «узкие» места в системе и наметить пути ее совершенствования с целью получения оптимальных (рациональных) характеристик. Понятно, что реализация таких исследований возможна с помощью диалогового режима при автоматизации процессов организации УВД. Учитывая, что движение летательного аппарата описывается в общем случае системой дифференциальных уравнений, часто при автоматизации процессов и решении задач организации УВД гарантийные оценки могут быть получены также и методами дифференциальных игр [27, 92, 93, 94].

Описанный процесс поиска и оценки конфликтных ситуаций может быть легко автоматизирован уже в соответствующих вариантах автоматизированных систем ГА и в том числе в АС УВД и АСУ «Безопасность», что позволит поднять уровень организационно-структурных решений в зонах УВД, снижая нагрузку на диспетчера УВД и повышая уровень безопасности полетов.

**Контрольные вопросы**

1. Поясните взаимосвязь автоматизации процессов и гарантийного подхода к оценке уровня безопасности полетов.
2. В чем состоит сущность гарантийного подхода при решении задач организации УВД? Приведите примеры.
3. Укажите, какие методы могут применяться при нахождении гарантийных оценок и в каких случаях целесообразно применять каждый из них?
4. Поясните определение гарантийных оценок уровня организации УВД методами матричных игр.
5. Какой физический смысл имеют смешанные стратегии игрока в задаче организации воздушного движения?
6. В терминах гарантийного подхода сформулируйте задачу определения минимумов продольного эшелонирования.
7. Какова должна быть гипотеза о движении летательных аппаратов при определении норм бокового эшелонирования в расчете на наихудший случай?
8. Дайте общую оценку гарантийного подхода и возможности его реализации в существующих и проектируемых автоматизированных системах.

## Глава 8

## ПРОЦЕССЫ ОБУЧЕНИЯ ДИСПЕТЧЕРА И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИХ АВТОМАТИЗАЦИИ

### 8.1. Задачи и принципы обучения и значение автоматизации процессов обучения

Среди основных направлений совершенствования системы УВД, таких, как широкое внедрение современных технических средств и автоматизации процессов на всех этапах функционирования системы, повышение уровня качества планирования полетов и

организации УВД, значительное внимание уделяется повышению профессионального мастерства работников службы движения. Высокие темпы развития авиационной техники предъявляют повышенные требования к авиационным специалистам всех профилей: диспетчерам, руководителям полета и другим работникам службы движения. Особое значение приобретают вопросы повышения качества подготовки и совершенствования знаний специалистов, эксплуатирующих сложную современную технику, включающую в качестве одного из самых сложных ее видов — автоматизированные системы УВД — АС УВД. Поэтому процесс обучения специалистов УВД является важнейшим процессом при организации УВД.

Современное развитие авиационных систем, характеризующееся сложностью протекающих в них процессов, планомерное обновление парка летательных аппаратов, наземного радиотехнического оборудования АС УВД и навигации требуют постоянного совершенствования процесса и составляющих его задач подготовки, ввода в строй и переподготовки кадров для гражданской авиации.

Анализ состояния безопасности, позволяющий проследить влияние ярко выраженных факторов, показывает, что среди них одно из главных мест занимает профессиональный уровень, определяющийся в основном выполнением первой из задач — подготовкой специалистов УВД. Из анализа следует, что комплексный фактор, мультиплицирующий явления, включающие профессиональный уровень, условия работы, психофизиологическое состояние, служит причиной 60—70% всех предпосылок к авиационным происшествиям по вине службы движения. Кроме того, анализ безопасности полетов за ряд лет показывает, что на долю диспетчеров-стажеров и диспетчеров с малым опытом приходится до одной трети всех нарушений при УВД и опасных сближений в полете. Эти данные свидетельствуют о важнейшей роли процессов обучения вообще и задач первоначальной подготовки специалистов УВД.

Существенное значение при этом имеет и вторая задача процесса обучения — задача ввода в строй, которая является заключительным этапом процесса обучения, осуществляемым непосредственно на рабочих местах. Опрос специалистов службы движения ряда управлений и аэропортов с высокой интенсивностью воздушного движения показал, что молодые диспетчеры в основном начинают чувствовать себя уверенно при УВД в напряженных секторах после 1—1,5 лет самостоятельной работы. Подобные сроки ввода в строй специалистов являются в настоящее время неприемлемыми.

Большое внимание уделяется третьей задаче процессов подготовки — задаче переподготовки специалистов УВД. Такая необходимость диктуется в основном следующими причинами: поступлением на вооружение новой техники, мощных автоматизированных комплексов и АС УВД, значительно превосходящих по своим техническим данным и уровню сложности в эксплуатации предшествующие системы; изменением и совершенствованием методов управления и руководства эксплуатирующими эти технику кадрами, что

связано с техническим перевооружением, повышением требований к уровню безопасности и регулярности полетов, усовершенствованием и оптимизацией использования воздушного пространства; относительными потерями или сужением профессиональных знаний.

В связи с этим возникает необходимость оптимизации системы обучения специалистов УВД, включая оптимизацию задач первоначальной подготовки. Применяя основной принцип исследования сложных систем — принцип декомпозиции, задачи оптимизации системы подготовки специалистов УВД можно разделить еще на более простые задачи, решение которых может быть получено для применения при эксплуатации в учебных заведениях, с обоснованием некоторых простейших закономерностей, не требующих использования ЭВМ для их реализации. Построение наиболее рациональных процессов первоначальной подготовки, ввода в строй и переподготовки специалистов УВД возможно только на базе применения автоматизированных систем обучения. Понятно, что исследование подобных оптимизационных задач требует автоматизации процессов сбора и обработки информации о рассматриваемых задачах, применения технических средств обучения, включающих в свой состав ЭВМ. Такие технические средства уже широко используются для профессионального обучения и переподготовки. Это учебные диспетчерские тренажеры (УДТ), включающие мощные современные ЭВМ [12, 124].

Общая блок-схема процесса профессионального обучения, синтезированная на основе анализа источников [125—131] и экспериментов, приведена на рис. 8.1. Излагаемые здесь положения справедливы при некоторой модификации и для процесса обучения вообще. Однако полученные конкретные результаты относятся лишь к подготовке и переподготовке диспетчеров УВД. Хотя они в значительной мере перекликаются с общими выводами, известными для подготовки операторов в других системах, их достоверность может быть гарантирована только относительно процессов обучения специалистов УВД.

Согласно блок-схеме процесс обучения является замкнутым процессом, в котором такие параметры, как уровень обученности, время получения того или иного навыка, служат выходом, а задачи и указания — входом, формируемым согласно программе и методике обучения, а также поправкам учителя и (или) оценочного устройства. Обратной связью корректирующей и собственно обучающей служат показания индикаторных устройств тренажера и команды, подсказки и указания учителя-инструктора. В зависимости от успешности процесса обучения учитель-инструктор и (или) оценочное устройство (если оно имеется в тренажере) должны обладать возможностью изменять программу и методику обучения, подстраивая ее каждый раз в зависимости от результатов обучения. Таким образом приходят к идее индивидуально-групповой подготовки операторов и адаптивного оптимального УДТ, использующего алгоритм оценки уровня обученности и решающего задачу

выбора упражнения, планирования проведения тренажерных занятий, изменения программы и методики обучения. Построение таких алгоритмов возможно лишь при знании математической модели процесса приобретения и потери профессиональных навыков, а также некоторых общих принципов обучения, позволяющих обоснованно применять принцип декомпозиции при разбиении процесса на этапы обучения, отрабатываемые отдельно задачи и упражнения для каждого занятия. Получение таких общих принципов обучения возможно на базе применения теории функциональных систем, предложенной П. К. Анохиным еще в 1947 г. и развитой в последнее время [113, 125]. Основная идея состоит здесь в представлении процесса обучения (привития навыка) в виде возникновения устойчивой иерархической функциональной системы (ИФС), в которой сужается, т. е. падает, поток навыков, направленный от периферии к центру до какого-то устойчивого положения.

В представлении процесса обучения в виде процесса возникновения ИФС, учитывающего свойства человека-оператора, и состоит первый принцип обучения. Основными элементами ИФС (рис. 8.2) являются: некоторое фиксированное начальное состояние процесса $S^{(0)}$, конечный результат $Z_2$ и уровни иерархии афферентного синтеза, осуществляемого в соответствии с моделью случайного процесса ассоциативной памяти и внешних возмущений среды.

Афферентный синтез, позволяющий из начального пускового состояния — сигнала поведенческого акта, обозначаемого кружком на схеме, перейти к намеченному при синтезе результату, обозначаемому квадратом, формирует вместе с программой действий акцептор действия будущих результатов, который включает операционные результаты и конечный. На схеме показаны уровни $N_i$, операционные результаты-состояния $s_{11}$ и $s_{12}$ для уровня $N_1$ и $s_{211}$, $s_{212}$ для уровня $N_2$, а также намеченные операционные результаты

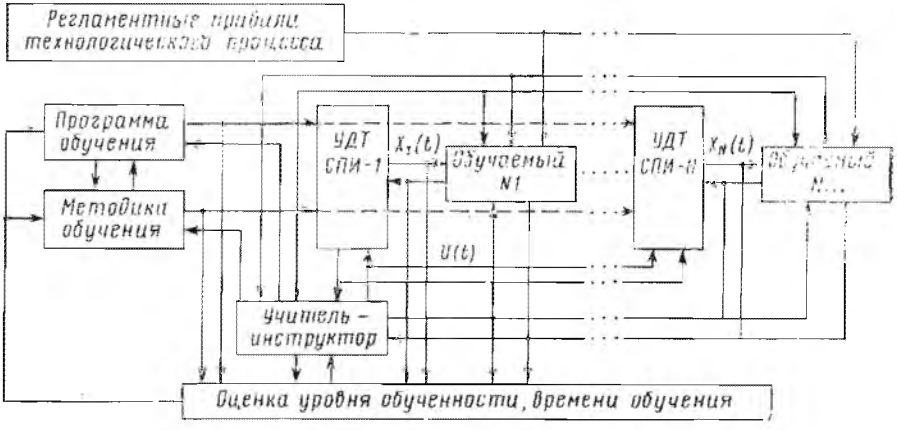



Рис. 8.1. Блок-схема процесса обучения

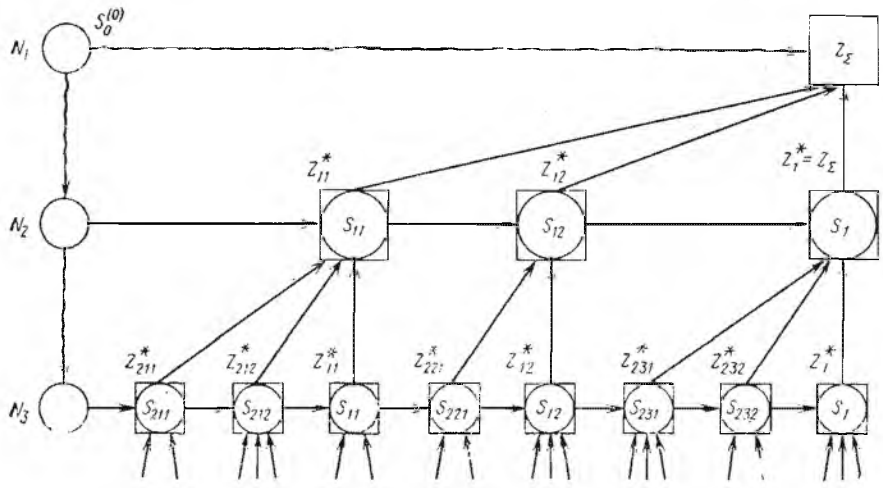



Рис. 8.2. Иерархическая функциональная система (фрагмент), образующаяся в процессе обучения

(итоговые) $z_{11}^*$ и $z_{12}^*$ для $N_1$ и $z_{211}^*$, $z_{212}^*$ для $N_2$. Совпадение полученного при поведенческом акте результата состояния $s_{2jk}$, например, на $N_2$ с намеченным $z_{2jk}$ служит сигналом к выполнению следующего поведенческого акта (получению следующего навыка — в случае обучения) на уровне $N_3$ с заданным намеченным итоговым результатом

$$z_{2jk+1}^* : u_{ilj} = f(z_{ilj}^* - s_{ilj}). \tag{8.1}$$

Число операций на каждом уровне образует объем уровня $N_i$, где индекс $i$ означает номер уровня, а $n$, $(i=\overline{1, n})$ — число уровней. На уровне $N_i$ для получения намеченного результата $z_{il\ldots j}^*$ выбираются операционные результаты — состояния на нижележащих уровнях $s_{i+1l\ldots j}$, где $i=\overline{1, n}$, $l$ — номер операции на $N_{i+1}$-м уровне, $l=\overline{1, N_{i+1}}$, $j$ — номер операции на уровне $N_{i-1}$, $j=\overline{1, N_{j-1}}$. Таким образом, построение ИФС следует принципу декомпозиции, позволяющему разделить процесс обучения на этапы обучения, задачи, упражнения и операции.

Для построения оптимального процесса обучения прежде всего необходимо решить вопрос о параметрах, получаемых в результате применения принципа декомпозиции: каково число этапов обучения должно быть, на какое число отрабатываемых задач должны разделяться этапы и сколько упражнений должна содержать каждая задача. Затем следует рассмотреть вопросы, связанные с определением оптимального числа повторений каждого упражнения, длительности его выполнения и др. (рис. 8.3). Число этапов и задач удается найти из анализа ситуаций производственной деятельности диспетчера УВД. Однако число упражнений, на которое сле-

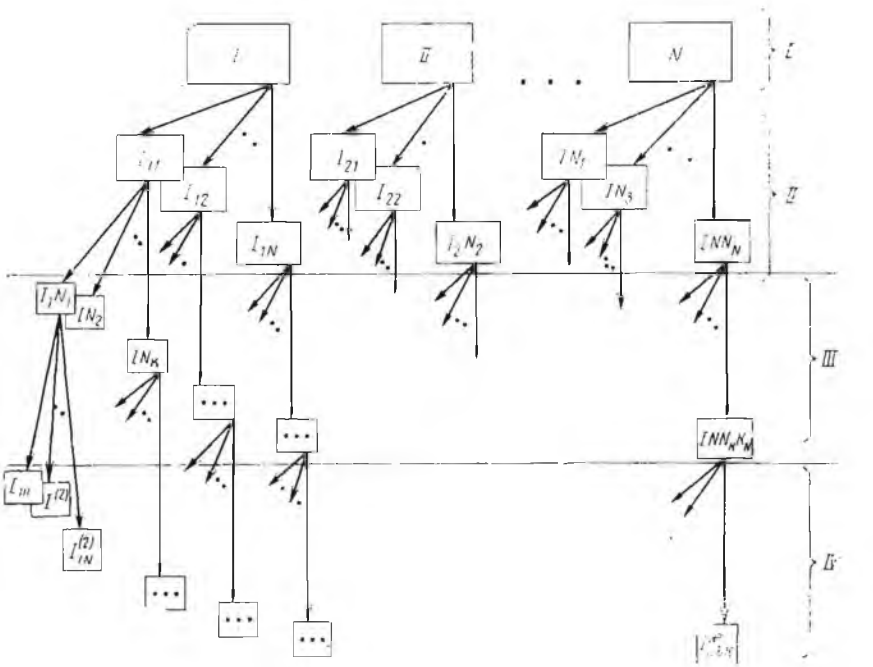


Рис. 8.3. Декомпозиция процесса обучения: *I*—количество этапов обучения $N$; *II*—количество задач, отрабатываемых на всех этапах $N' = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N_i} I_{ij}$; *III*—количество упражнений, выполняемых при обучении $N = (2) \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{r=1}^{K_n^N} I_{ijr}$; *IV*—количество операций

дует расчленить задачу, число операций, на которые далее делится упражнение, обосновываются уже в соответствии с первым принципом обучения, требующим учета свойства обучаемого оператора [126, 127]. В ИФС академика П. К. Анохина наиболее низким уровнем оператора можно считать уровень, формирующий активность мотонейронов (двигательных нейронов, участвующих в исполнительных актах). На этом уровне эфферентные команды (исполнительные, направленные от центра к органам исполнения) одновременно формируют и акцепторы действия. Для выделения элементарной операции, которой следует обучать, необходимо выяснить, какая эфферентная команда служит неделимым, элементарным звеном, т. е. той наименьшей командой, которая может быть еще различима на шкале достигаемых результатов. Взяв в качестве количественной характеристики, например, временной интервал, по наибольшей частоте разрядов, передаваемых по аксону мотонейрона, можно найти минимальное его значение, а исходя из времени

выполнения наиболее простого сенсомоторного акта — максимальное. Тогда можно утверждать, что операции наинизшего уровня характеризуются пределами временного интервала $0{,}001\ \text{с} \leqslant \tau \leqslant 0{,}1$ с.

Если считать, что число мотонейронов у человека-оператора порядка единиц $10^6$, то число возможных вариантов различных программ результатов $z_{il\ldots j}$, из которых происходит выбор конкретных программ $\Pi = (10^6)n$.

Оценивая один импульс в мотонейроне в 1 бит, можно предположить, что выбор программы из числа П в течение долей секунды возможен лишь при $n$, не превышающем 3—5. Это число может служить наилучшей оценкой оперативной памяти человека-оператора, которую можно представить в виде ИФС сознательной регуляции деятельности [126]. Полученное число уровней можно интерпретировать, как: число этапов обучения при построении общей ИФС профессиональной подготовки в целом; число задач в этапе; число упражнений в одной из отрабатываемых задач УВД при формировании устойчивости ИФС для нее; число операций, формирующих устойчивую ИФС упражнения.

Полученные результаты по анализу ситуаций при УВД и при формировании ИФС позволили создать рациональную структуру процесса первоначальной профессиональной подготовки специалистов УВД. Проведение тренировок при этом осуществляется на различного рода имитаторах, тренажерах, в полетах на специализированных самолетах-лабораториях. Необходимо, чтобы в любых случаях реализовались дидактические условия подготовки специалиста «обучающийся — тренажер — руководитель обучения» (см. рис. 8.1) в соответствии с общими полученными принципами обучения [128—130].

Основными этапами обучения на тренажерах являются этапы, число и чередование которых определяется по анализу ситуаций УВД и формирования ИФС, а также процессом познания человека, включающим в себя восприятие, представление, понятие. Исходя из этого, приняты четыре этапа обучения. На первом этапе осуществляются так называемые абстрактные (предварительные) тренировки для отработки отдельных типовых операций для некоторых упражнений и задач. Здесь применяются простейшие имитаторы, на которых отрабатываются сенсомоторные и сенсоречевые навыки поэлементной программы.

Второй этап является этапом предварительных тренировок и служит связующим звеном первого и последующего этапов. На нем отрабатываются обобщенные программы по управлению одиночного летательного аппарата на всех этапах его полета. Здесь широкое применение находят технологические карты, составленные с учетом алгоритмического метода обучения специалистов УВД и позволяющие определить рациональное число задач.

На третьем этапе отрабатываются основные, наиболее часто встречающиеся режимы в деятельности диспетчера, т. е. те задачи

и упражнения, которые предстоит решать будущему специалисту в процессе непосредственного УВД, а именно управлением совокупностью летательных аппаратов.

На четвертом этапе происходит отработка аварийных режимов. Этот этап требует строгого формулирования и реализации необходимых конкретных ситуаций, а также соответствующих ответных действий обучаемого.

Таким образом, всесторонний учет характеристик и возможностей человека при формировании ИФС с точки зрения задач и методов его обучения позволяет привить будущему специалисту УВД необходимые профессиональные навыки по управлению воздушным движением. Окончательная отработка этих навыков происходит на диспетчерских пунктах службы движения в аэропортах гражданской авиации в период месячных производственных практик.

Заключительным этапом в процессе обучения специалиста является доводка и проверка профессиональных знаний и навыков по управлению воздушным движением в реальной рабочей обстановке при вводе в строй и дипломном проектировании.

Неотъемлемым звеном в системе подготовки специалистов УВД является анализ производственной деятельности выпускников на основе тех отзывов, которые поступают от руководства службы движения по специально разработанной анкете. Этот акт является той обратной связью, которая должна позволить выявить имеющиеся в учебном процессе упущения и принять меры по совершенствованию системы подготовки специалистов УВД.

Таким образом, в тех случаях, когда уровни и операционные результаты $z^*$ ИФС, образующейся вследствие обучения, могут быть выделены, наиболее рациональным процессом обучения является такой, при котором обучение будет начинаться с получения и закрепления навыков на низших уровнях. В этом состоит третий принцип обучения: от низшего уровня к высшему при формировании ИФС профессиональных навыков.

Число операций в одном уровне ИФС, а значит, и число операций, которым обучают оператора, при декомпозиции отдельного упражнения на операции (см. рис. 8.3), может быть определено из правила закрепления в памяти оператора следов новых раздражителей. Согласно этому правилу закрепление таких следов тем сильнее, чем меньше по времени интервал между получением сигнала-раздражителя и достигаемым результатом [126]. Наиболее мелкое доступное членение результатов $z^*_{il\ldots j}$ и позволит найти рациональное их число $j=\overline{1,\ N_{i-1}}$. Так может быть синтезирована ИФС каждой отдельной задачи.

Объединение их дает ИФС этапа обучения и далее — ИФС всей профессиональной подготовки.

Полученные выше результаты в основном обосновывают положения [128]. Они позволяют более конкретно обосновать общие правила обучения, исходя из которых можно найти рациональные числа-параметры декомпозиции задач и упражнений, сроки их вы-

полнения, число повторений для закрепления навыков и многие другие параметры, оптимизирующие процесс обучения при его автоматизации.

**Контрольные вопросы**

1. Чем объясняется особая важность процесса обучения в совокупности процессов этапа организации УВД?
2. Какие задачи составляют основу процесса обучения?
3. Приведите обоснование значимости каждой из задач процесса обучения.
4. Дайте пояснения взаимосвязи оптимизации задач процесса обучения с их автоматизацией.
5. Приведите общую блок-схему процесса обучения и укажите основные ее элементы и их связи.
6. В чем состоит первый принцип процесса обучения?
7. Поясните структуру ИФС и назовите основные ее элементы.
8. Назовите второй принцип процесса обучения.
9. Как обосновывается число уровней ИФС, образующейся у оператора при обучении?
10. Чем определяется число операций на каждом уровне ИФС?
11. В чем состоит третий принцип процесса обучения?
12. Приведите пример простейших операций любого из упражнений для какой-либо задачи непосредственного УВД.

## 8.2. Моделирование и оптимизация процессов обучения операционным навыкам

Полученные принципы обучения позволяют представить некоторые общие черты так называемой иконографической модели [1, 2, 16, 17] процесса обучения. Определение временных характеристик процесса обучения связано с необходимостью построения математических моделей изменения состояния данного процесса. Наилучшим видом такой модели является функциональная зависимость.

В соответствии со вторым и третьим принципами процесс обучения при первоначальной подготовке может быть разделен на процесс привития навыков восприятия информации, считывания ее с достаточной точностью, прогнозирования ее значений и т. д. (навыков по операциями информационной подготовки принятого решения) и процесс привития навыков по принятию решений. Действительно, деятельность оператора-диспетчера УВД в любой из ситуаций может быть представлена этими двумя процессами — информационной подготовкой принятия решения и собственно процессом принятия решения [23].

К операциям информационной подготовки принятия решения можно отнести опознавание и различение речевых сигналов при взаимодействии диспетчера с командирами летательных аппаратов и смежными диспетчерскими пунктами; зрительное опознавание и различение сигналов-показателей приборов и экрана РЛС; считывание полученных значений координат и скоростей летательных аппаратов на экране РЛС; прогнозирование значений координат и скоростей и другие элементарные операции на пульте диспетчера.

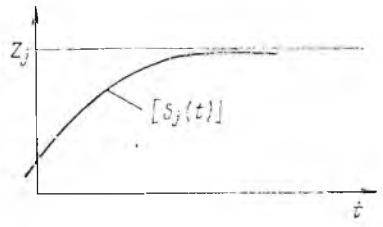



Рис. 8.4. Значение математического ожидания $j$-й компоненты вектора $S$ состояния процесса обучения

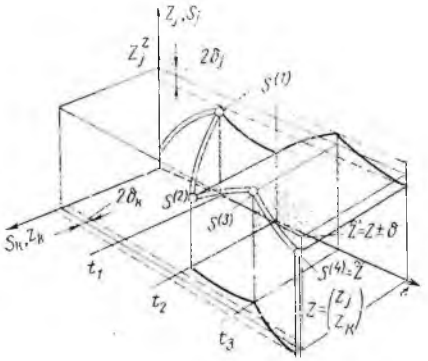



Рис. 8.5. Значения математического ожидания $j$-й и $k$-й компонент вектора $S$ при условии снижения уровня $j$-й во время отработки $k$-й и повышения $k$-й при повторных тренировках по $j$-й

Названные операции легко контролируются, так как каждая из них практически однозначно характеризуется определенным параметром.

Так, операции опознавания и различения характеризуются пороговыми значениями сигналов ($s_1$ — для звукового и $s_2$ — для зрительного каналов), воспринимаемыми обучаемым, операции считывания — точностью получаемых значений параметров движения летательных аппаратов ($s_3^{(i)}$ — точность считывания значений азимута; $s_4^{(i)}$ — точность считывания значений дальности $i$-го летательного аппарата $i=\overline{1,N}$; $s_5^{(i)}$ — точность высоты (при наличии вторичного канала РЛС); $s_6^{(i)}$ — точность скорости изменения азимута) и т. д. Таким образом, образуется вектор состояния процесса обучения:

$$S=(s_1, \ldots, s_n)^{\mathrm{T}}.$$

Для каждой из $(j=\overline{1,n})$ названных операций исходя из анализа процессов управления и требований практики УВД могут быть указаны конечные требуемые итоговые результаты $z_j$, образующие вектор $Z$.

Многочисленные экспериментальные исследования позволяют установить вид функциональной зависимости статистических характеристик компонент вектора состояния процесса обучения во времени при заданных $z_j$ (рис. 8.4), а также получить характеристики зависимости потери навыков от времени, что очень важно при исследовании другой задачи процесса подготовки — задачи переподготовки специалистов (рис. 8.5).

Проводя аналогию информационных процессов с тепловыми процессами и используя в соответствии с этим закон Бугера, можно в качестве математической модели изменения состояния процесса использовать предложенное векторное уравнение [130]:

$$F_{\cdot}(u)\dot{S}+AS=Z_{\text{з}}. \qquad (8.2)$$

В это уравнение, кроме введенных уже векторов $S$ и $Z_z$, входят: $F(u)$ — матрица управления процессом обучения:

$$F(u)=\begin{bmatrix} F_1(u), & Q_{12}(u), \ldots, & Q_{1n}(u) \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{n1}(u), & Q_{n2}(u), \ldots, & F_n(u) \end{bmatrix}, \tag{8.3}$$

где $F_j(u)$ — «непосредственное», т. е. целенаправленное, воздействие на обучаемого по данной $j$-й операции.

Чаще всего можно записать

$$F_j(u)=\frac{k_j^{(1)}}{u_j(x)}, \tag{8.4}$$

где $k_i^{(1)}$ — некоторый постоянный коэффициент; $u_j(x)$ — функция непосредственного управления, зависящая от многих параметров обучения (от таких, как время тренажа по $j$-й операции, время перерывов между очередными тренажами по данной операции, количество повторов); $Q_{ji}(u)$ — «косвенное», т. е. не предусмотренное, в качестве соответствия итоговому результату $Z_j$ воздействие на обучаемого по операции $j$ при отработке $i$-го навыка

$$Q_{ji}(u)=\frac{k_j^2}{u_{ji}(x)}, \tag{8.5}$$

где $k_j^{(2)}$ — некоторый постоянный коэффициент; $u_{ji}(x)$ — функция косвенного управления, определяемая временем тренировок и числом отрабатываемых операций, последовательностью их отработки, степенью взаимовлияния и др.; $u_{ji}(x)$ может характеризовать и потери в $j$-м навыке при отработке $i$-го навыка; $A=\{a_{ji}\}$ матрица коэффициентов $n\times n$, причем в значительном числе случаев $a_{ji}\approx 1$ и при $k>j$ $a_{jk}\approx 0$.

Кроме того, учитывая физическую природу процесса, как правило, известны или задаются граничные условия на вектор состояния процесса и ряд ограничений на текущие значения его компонент и управляющих функций, а именно:

начальные условия $\varkappa[s(t_0)]=0$ или в виде

$$s_j(t_0)=s_j^{(0)}\ (j=\overline{1,\ n}); \tag{8.6}$$

конечные условия $\theta[s(T)]=0$, или

$$s_j(T)=s_j^{(T)}\approx z_j\pm\varepsilon; \tag{8.7}$$

ограничения на текущие значения

$$\psi[S(t)]\in G_s; \tag{8.8}$$

ограничения на значения управляющих функций:

$$F_j(u)\in G_u^{(1)};\ Q_{ji}(u)\in G_u^{(2)}. \tag{8.9}$$

При наличии такого полного представления о структуре модели состояния процесса обучения в виде зависимости (8.2)—(8.9)

можно путем использования процедуры планирования экспериментов (см. 2.5) найти численные значения всех входящих в них коэффициентов и параметров. Приведенный подход к моделированию состояния процесса обучения относится к так называемым «феноменологическим», когда наблюдаемое явление (феномен) описывается с помощью известного кибернетического метода, оценивающего процесс целостно, путем наблюдений лишь его входов и выходов.

Феноменологический подход построения модели (8.2) — (8.9) позволяет дать строгую формулировку задач оптимизации процесса обучения. При этом каждый раз ставится задача об отыскании таких значений компонент (8.4) и (8.5) матрицы управления (8.3), при которых процесс обучения протекал бы, начиная из состояния (8.6) и попадая в состояние (8.7) в соответствии с решением уравнения (8.2), с учетом ограничений (8.8) и (8.9) и так, чтобы показатель эффективности

$$J_{\Sigma}=J[I_1, \ldots, I_{\mu}] \tag{8.10}$$

достигал наилучшего своего значения (максимума или минимума в зависимости от физического смысла).

Здесь $I_j$ — частные показатели эффективности процесса обучения.

В качестве показателя $J_{\Sigma}$ чаще всего выступает время обучения:

$$J_{\Sigma}^{(1)}=\{J[T]/Z \geqslant Z^*\}. \tag{8.11}$$

Тогда ставится задача минимизации $(J_{\Sigma}^{(1)})$ при заданном уровне $Z^*$ либо ставится двойственная задача о достижении максимума показателем эффективности, в качестве которого теперь уже используется уровень подготовки навыкам по определенной операции или их совокупности за заданный (допустимый) отрезок времени $T_{\text{доп}}$:

$$J_{\Sigma}^{(2)}=\{J(Z)/T \leqslant T_{\text{доп}}\}. \tag{8.12}$$

В качестве $J_{\Sigma}$ может выступать и некоторый комплексный показатель, например, в виде взвешенной суммы частных показателей, таких, как время обучения и достигнутые навыки, или составной показатель, комбинирующий цель обучения сложным образом так, что сначала ставится задача (8.11), а затем при достижении определенного $Z^*$ решается задача (8.12) и др. [16, 28, 53].

Задачи данного типа имеют ряд особенностей, таких, как стохастический характер. Дело в том, что в действительности процесс обучения является многосвязным случайным процессом с нелинейными и нестационарными характеристиками. Индивидуальные особенности обучаемых не позволяют безоговорочно использовать здесь эргодическую теорию, а нарастание уровня требуемых знаний, навыков и использование прошлого опыта обучаемого свидетельствуют о существенных затруднениях при отнесении их к марковским процессам. Существенную роль при обучении играет явле-

ние частичной потери навыков либо повышение их уровня по $j$-й операции при обучении $l$-й операции, что и свидетельствует о многосвязности операций и тоже усложняет исследование процесса обучения (см. рис. 8.5). Учитывая практическую направленность задач оптимизации процесса обучения, можно перейти к приближенному их исследованию, ограничившись лишь моментами первых порядков, т. е. детерминированных их аналогом, считая все переменные в выражениях (8.2)—(8.9) математическими ожиданиями соответствующих случайных процессов.

В такой интерпретации задачи (8.2)—(8.9), (8.11) либо (8.2—(8.9), (8.12) относятся к классу задач параметрической оптимизации динамических процессов, так как управляющими функциями в модели процесса служат коэффициенты дифференциальных уравнений и другие управления параметрического вида. Алгоритм решения подобных задач может быть построен на основе условий оптимальности параметрических управлений [28, 37]. При малых размерностях вектора $S$, т. е. когда обучение ведется по малому числу операций, существенные для практики обучения результаты могут быть найдены при планировании и проведении тренажерных экспериментов и в процессе практического осуществления тренажерной подготовки специалистов УВД [129, 130].

В этом случае определялось среднее потребное время на отработку определенных операций и оптимальные значения $u_j$. Например, значения $s_j$ ошибок определения координат и «опасных сближений», допущенных обучаемыми специализации УВД при первоначальной подготовке в условиях отработки операций к упражнению по УВД в районе аэродрома с частотой занятий каждый день по 2 ч, показывают, что отводимое время (7 ч) на это упражнение недостаточно. Поэтому для полного усвоения этого типа задач необходимо увеличить время занятий как минимум на 2 ч, т. е. чтобы $s_j=z_j$. При исследовании влияния времени перерывов между занятиями на скорость процесса обучения $u_j=f(T_n)$ было выявлено, что оптимальная частота тренировок, позволяющая минимизировать эффект потери навыков, приобретенных на предыдущих занятиях, при 2-часовых тренировках составляет 2—3 раза в неделю (разброс отражает различия в индивидуальных способностях обучаемых).

Особый интерес представляют исследования по нахождению оптимума показателей $J_\Sigma$ в зависимости от сложности предлагаемых операций, упражнений и задач и структуры зоны управления. Исходя из важности полученного на первом этапе тренировок умения осуществлять прогноз воздушной обстановки оценивались методы ускорения выработки умения прогнозировать местоположение летательных аппаратов обучаемыми. В процессе экспериментов было найдено, что это умение наиболее быстро развивается у обучаемых при отработке упражнений по УВД в условиях потенциально-конфликтных ситуациях (ПКС).

Пусть рассматриваются два случая, когда обучаемому представляется случайная последовательность входных воздействий при

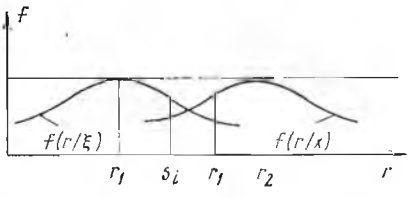



Рис. 8.6. Распределение сенсорных эффектов от воздействия шума $\xi$ и смеси шума и сигнала $(x)$, ($r_1$, $r_2$ — модальные, наиболее часто встречающиеся ощущения)

наличии сигнала и шума и просто шума (помех). В целях упрощения считают шум белым и аддитивным детерминированному сигналу. Пусть дана ось сенсорных «эффектов» (рис. 8.6) и заданы плотности вероятностей $f(r/\xi)$ того, что воздействие в виде шума $\xi$ воспринимается обучаемым оператором с эффектом $r$; $f(r/x)$ — плотность вероятности того, что воздействие в виде смеси сигнала и шума воспринимается с эффектом $r$. Оператор обладает порогом чувствительности по данному $i$-му виду сигнала $s_i$, делящему область ощущений на две части так, что если сенсорный эффект $r$ окажется в области, где $r \geqslant s_i$, то оператор считает, что сигнал $x$ имеет место в смеси, если же $r < s_i$, то оператор считает воздействие сплошной помехой — шумом.

Таким образом, устанавливается, что обучаемый оперирует границей (порогом) $s_i$ при различении сигнала и шума. Если длина участка сенсорной оси $l(r) = \frac{r}{s_1} \geqslant 1$, то делается вывод, что сигнал есть, если $l(r) = \frac{r}{s_1} < 1$, то — нет. Если $s_i$ — порог на сенсорной оси, то критическое отношение правдоподбия $l(s_i) = \frac{s_i}{s_i} = 1$ Цель обучения состоит в смещении границы $s_1$ так, чтобы различалось наличие сигнала с наибольшей вероятностью.

Количественная запись этой цели осуществляется следующим образом. Вводят априорные вероятности появления сигнала $P(x)$ и шума $P(\xi)$, тогда пропорция (частость) ответов обучаемого «сигнал есть» выражается:

$$P(x/x,\ \xi) = P(x)\,P(x/x) + P(\xi)\,P(x/\xi), \tag{8.13}$$

где $P(x/x)$ — частость ответов $(x)$ при наличии $(x)$. Цель обучения состоит в том, чтобы достичь наибольшего приближения $P(x/x,\ \xi)$ к $P(x)$, т. е.

$$J_{si} = \dot{I}\,[P(x/x,\ \xi) - P(x)]. \tag{8.14}$$

При этом решается следующая задача обучения по навыку $s_i$

$$\min_{l(s_i)} \dot{I}\,(P(x/x,\ \xi) - P(x)). \tag{8.15}$$

Тогда для случая обученного оператора из (8.13) и (8.15) справедлива зависимость

$$\frac{P(\xi)}{P(x)} = \frac{1 - P(x/x)}{P(x/\xi)}. \tag{8.16}$$

В соответствии с байесовским подходом, критическое отношение правдоподобия будет оптимальным, если оно определяется вы-

ражением априорных вероятностей

$$l(s_i)=\frac{f(s_i/x)}{f(s_i/\xi)}=\frac{P(\xi)}{P(x)}. \qquad (8.17)$$

Тогда для обученного оператора

$$l(s_i^*)=\frac{1-P(x/x)}{P(x/\xi)}. \qquad (8.18)$$

Отсюда следует, что при $P(x)=P(\xi)=0{,}5$ $l(s_i)=1$. Если путем экспериментов построить кривую рабочей характеристики оператора, работающего в режиме приемника сигналов, характеризующей зависимость частостей обнаружения $P(x/x)$ от частости ложных тревог $P(x/\xi)$, то выражение (8.18) определяет значение модуля тангенса угла $\alpha$ (рис. 8.7): $|\operatorname{tg}\alpha|=\frac{1-P_1(x/x)}{P_1(x/\xi)}$. Таким образом, процесс обучения теперь интерпретируется как смещение у обучаемого оператора значения порога $s_i$ так, чтобы пропорция его ответов о наличии $P(x/x)$ или об отсутствии $P(\xi/\xi)$ сигнала совпадала с пропорцией априорных вероятностей (8.17), (8.18).

В процессе тренировок было замечено, что диапазон колебаний текущей пропорции ответов существенно уменьшается и что обучаемый в процессе тренировки узнает и запоминает некоторые параметры распределений $f(s/\xi)$ и $f(s/x)$, т. е. подтверждается с высокой степенью достоверности, что обучаемый оценивает вероятность ситуации наличия шума или сигнала и шума и оценивает отношение этих вероятностей, строя как бы в уме отношение правдоподобия $l(s)$ по формуле (8.17). Он считает; что имеет место сигнал, если $l(s_1)\geqslant 1$ и нет, если $l(s_1)<1$. Таким образом определяется решающее правило для обучаемого. Здесь возникает ситуация замыкания цепи между целым и частным, так как сами операции обнаружения и различения служат информационным обеспечением стадии предрешения, обосновывающего собственно принятие решения.

В заключение данного раздела следует остановиться на некоторых результатах в исследовании задачи переподготовки специалистов УВД. Среди вопросов, определяющих основные характеристики задачи переподготовки специалистов УВД эксплуатационной направленности, одно из центральных мест занимает вопрос обоснованных сроков проведения такой переподготовки. Анализ причин, вызывающих необходимость переподготовки таких специалистов, связан со сменой поколений

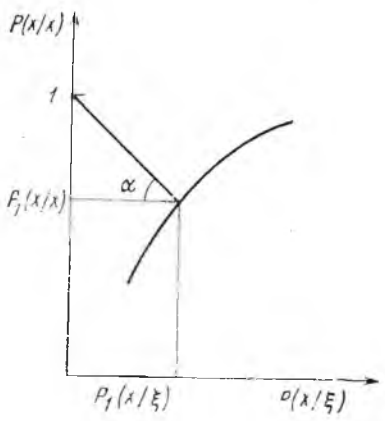



Рис. 8.7. Рабочая характеристика оператора и оптимальное значение $\alpha$, соответствующее обученному оператору

технических систем изменением принципов управления и руководства кадрами, осуществляющими эксплуатацию новых технических систем, и с естественными процессами относительной потери или сужения профессиональных знаний в условиях постоянной деятельности специалиста в рамках структуры одного предприятия. Если первые две причины могут быть рассмотрены, например, с помощью методов статистического анализа и прогнозов, полученных на основе обработки статистических данных о частоте ввода новой техники, смене документации, регламентирующей деятельность специалистов, и результатов опроса экспертной группы специалистов, то последняя причина требует более внимательного изучения. Дело в том, что процессы относительной потери или сужения профессиональных знаний и навыков в условиях постоянной эксплуатационной деятельности специалиста в рамках сравнительно стационарных условий изучена крайне мало и моделирование их вызывает значительные трудности. При попытке обоснования сроков переподготовки необходимо учитывать эти обстоятельства. Выбор сроков осуществляется на основе анализа трех величин отрезков времени, получаемых на основе учета каждой из трех рассмотренных ранее причин:

$$T = \min\{T_1, T_2, T_3\}. \tag{8.19}$$

Возможные пути исследования и моделирования процесса потери навыков следует искать, анализируя уже результаты, полученные при исследовании и моделировании задачи первоначальной профессиональной подготовки специалистов УВД.

В качестве методов исследования и моделирования процесса профессионального обучения рассматривались методы планирования тренажерных экспериментов с использованием алгоритмов стохастической аппроксимации. Таким образом, процесс обучения можно моделировать с помощью характеристики, учитывающей его многомерность. Коэффициенты матрицы, определяющие скорость процесса обучения, также являются многопараметричными. Поэтому, учитывая стохастический характер процесса, его нестационарность, неэргодичность и практическую невозможность сведения к марковскому процессу, в качестве основного метода исследования был выбран экспериментальный подход. Если пренебречь «косвенными» влияниями, то приближенное решение задачи (8.12) для приобретения либо потери $j$-го профессионального навыка определяется зависимостями:

для приобретения

$$s_j(T) = z_j + (s_j^0 - z_j)\, e^{-\frac{u_j^{(+)}}{k_j^{(1)(i)}} T};$$

для потери

$$s_j(T) = s_j^* e^{-\frac{u^{(-)}}{k_j^{(1)(-)}} T}, \tag{8.20}$$

где $s_j^{(0)}, s_j^*$ — соответственно заданный, начальный и приобретенный в результате первоначальной подготовки и практической деятельности уровень $j$-го навыка; $\frac{u_j^{(+)}}{k_j^{(1)(+)}}$; $\frac{u_j^{(-)}}{k_j^{(1)(-)}}$ — параметры управления, определяющие скорость приобретения и потери профессионального навыка.

Причем, как показали экспериментальные исследования, в подавляющем большинстве случаев $k_j^{(1)(-)} \gg k_j^{(1)(+)}$. С помощью указанной процедуры и в сочетании с сопоставлением данных обработки результатов экспертных опросов было установлено значение целесообразных сроков подготовки и переподготовки специалистов по управлению воздушным движением. Эти исследования позволили максимально использовать резервы учебного времени. Так, из зависимостей (8.20) было найдено, что уже через год отсутствия практической работы либо выполнения ее не в полном объеме происходит частичная потеря навыков, а через 2 года почти 30% диспетчеров УВД допускают грубые ошибки в работе (опасные сближения и нарушения безопасных интервалов). Для уверенного восстановления навыков из формул (8.20) можно установить, что диспетчерам, работавшим на аэродромах I и II классов, достаточно дать шестидневную тренировку по 2 ч в день, а диспетчерам из аэропортов с малой интенсивностью этот срок необходимо увеличить вдвое. Для дальнейшего поддержания устойчивых навыков вполне достаточно одной тренировки в месяц.

Анализируя опыт развития гражданской авиации, можно сказать, что достаточно крупные изменения в связи с прогрессом авиационной науки и техники происходят каждые 5—7 лет. Кроме того, необходимо учитывать, что интенсивность воздушного движения за этот период в среднем возрастает в 1,3—1,5 раза. Эти факторы, а также снижение уровня профессионального мастерства у части работников службы движения свидетельствуют о необходимости установления сроков переподготовки исходя из зависимостей для потери навыков (8.19).

$$T_{\text{перед}} = \min\{T_1,\ T_2,\ T_{\text{потер. нав.}}\} = T_{\text{потер. нав.}} \leqslant 1 \div 1{,}5_{\text{года}}.$$

**Контрольные вопросы**

1. На какие два процесса разбивается процесс обучения специалиста УВД при грубо приближенном рассмотрении?
2. Назовите операции, относящиеся к информационной подготовке принятия решения.
3. Что представляет собой вектор состояния процесса обучения?
4. Дайте обоснование математической модели процесса обучения и выпишите дифференциальное уравнение изменения состояния вектора обучения.
5. Приведите формулировки задач оптимизации процесса обучения.
6. В чем заключаются основные особенности задач оптимизации процесса обучения?
7. Дайте обоснование целесообразности тренажерных экспериментов при исследовании задач оптимизации процесса обучения.

8. Перечислите кратко основные результаты, полученные экспериментальным путем.

9. Какие результаты получены для задачи переподготовки специалистов УВД?

## 8.3. Моделирование и оптимизация процесса обучения принятию решений

Деятельность специалистов УВД — диспетчеров, осуществляющих непосредственное управление, РП и ЗНА, решающих вопросы как управления, так и организации УВД в значительной мере состоит из актов принятия решения. Принятие решения чрезвычайно сложный процесс, полное исследование его находится пока в начальной стадии [113]. Запросы практики УВД и некоторые результаты, достигнутые в теории обучения, позволяют говорить в возможности моделирования тех явлений, которые происходят при обучении ряду важнейших операций по принятию решений.

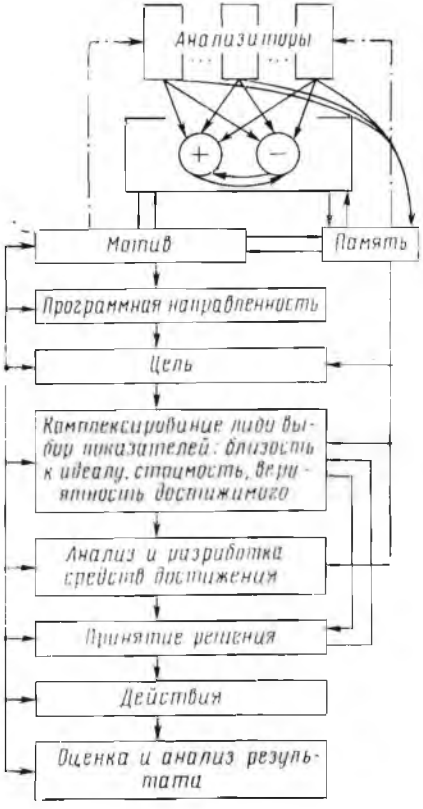



Рис. 8.8. Общая блок-схема деятельности человека-оператора

Сам процес принятия решения понимается в настоящее время как явление интеграции полученной информации и сведений, извлекаемых из памяти и прошлого опыта для осуществления акта выбора, когда из многих возможных действий выбирается одно, дающее наибольшую эффективность. При этом эффективность чаще всего определяется комплексно, как собственная функция, куда входят цель действия, определяемая (стимулируемая) мотивацией, цена (затраты средства) действия и вероятность достижимости цели. Поэтому процесс принятия решения не может быть изолирован от мотивации, памяти, внешних воздействий, анализа и других явлений. Принятие решения в общей схеме деятельности (рис. 8.8) определяет его взаимосвязи с остальными процессами деятельности [131] и подтверждает, что процесс принятия решения условно разделяется на информационную подготовку решения и процедуру принятия решения. Анализ вопросов обучения операционным навыкам, обеспечивающим стадию

предрешения, позволил предположить ряд моделей, на основании которых получены практические рекомендации, повышающие эффективность всего процесса обучения. В силу острой актуальности данных вопросов, по-видимому, можно считать допустимым использование здесь некоторых дискуссионных подходов [137, 138, 141]. Вывод о целесообразности выделения операций процесса принятия решений при обучении операторов обосновывается рядом причин. Первой из них можно считать наличие существенной специфики, характерной для операций принятия решения. При этом таким операциям ставится здесь в соответствие процедура выбора. Вторая заключается в наличии иерархии и цикличности в самих процессах принятия решений. Это позволяет надеяться выделить при моделировании некую общую элементарную модель обучения наиболее мелкой операции для любого уровня иерархии процесса принятия решения. Третьей причиной может служить тот факт, что некоторые модели обучения процессам принятия решения уже получены. К ним относятся модели выработки решающих правил при анализе логических процессов (гл. 2) при моделировании обучения опознавания и различения и других случаев образования у обучаемых устойчивой ИФС для операций принятия решения.

Рассматривая в качестве элементарной операции принятия решения операцию выбора, определим факторы, с помощью которых можно влиять на данный процесс с целью обучения правильности выбора.

Поставим в соответствие правильному выбору $z$ определенное положение многомерной точки $s=(s_1,\ldots,s_n)'$ — аналога вектора состояния процесса обучения:

$$s=z^*=z\pm\Delta, \tag{8.21}$$

где $z^*=(z_1^*,\ldots,z_n^*)'$ — точка, воспринимаемая обучаемым за точку правильного выбора; $\Delta$ — отклонение, характеризующее степень непонимания обучаемым истинного значения $z$-й цели.

Целью привития навыков выбора в данном случае, т. е. целью процесса обучения принятию решений тогда можно считать организацию таких направленных воздействий, при которых не только вектор состояния $s$ сместится в окрестность $\tilde{z}=z+\delta$ (см. рис. 8.5), но и понимание обучаемым истинности выбора станет близким к правильному

$$z^*\in\tilde{z}=z\pm\delta. \tag{8.22}$$

Смещение точек $s$ либо $z^*$ в многомерном пространстве состояний происходит под действием волевого акта обучаемого при $s\to z^*$ либо под действием акта обучения при $z^*\to z$. Это вызвано тем, что учителю-инструктору чаще всего доступны лишь сведения о положении точки $s$ — вектора состояния знаний обучаемого. Только путем длительных наблюдений ему удается установить наличие смещения целей обучаемого $z^*$ от истинного значения $z$.

Рассмотрим теперь процесс обучения, происходящий под действием указаний учителя-инструктора, мотивирующих у оператора

желание приобрести навыки и собственной неудовлетворенности, возникающей при несовпадении $s$ и $z^*$ и также мотивирующей желание к обучению. Таким образом, мотивационный центр, участвующий в формировании ИФС, возбуждается в виде совокупности нейронов под действием этих факторов. Здесь следует учитывать число возбуждаемых нейронов и активность их возбуждения, зависящую от «силы» и «яркости» переживаний, которые определяются впечатлениями, представлениями, мотивациями и др. (см. рис. 8.8). Грубым аналогом степени возбуждения (числа нейронов) может служить величина ошибки выбора, т. е. $+(z-s)^2$ — для учителя и $(z^*-s)^2$ — для обучаемого. «Сила» и «яркость» переживаний определяются некими управляющими параметрами, передающими степень воздействия со стороны учителя-инструктора $F(u)$ и собственную заинтересованность обучаемого $Q(u)$. Тогда процесс обучения операции выбора может быть описан дифференциальным уравнением, характеризующим смещение точки $s$ под действием двух перечисленных параметров:

$$\dot{s}+As=F_{\Sigma}, \tag{8.23}$$

где

$$F_{\Sigma}=F(u)(z-s)^2+Q(u)(z^*-s)^2;\ A=\frac{[F(u)+Q(u)]F_{\Sigma}}{F(u)z+Q(u)z^*}.$$

Таким образом, среднее установившееся положение точки $s$ после окончания переходного процесса обучения определяется из условия «равновесия» сил

$$\bar{s}=\frac{F_{\Sigma}}{A}=\frac{F(u)z+Q(u)z^*}{F(u)+Q(u)}. \tag{8.24}$$

Кроме уравнения (8.23) на элементы процесса обучения накладываются и другие естественные ограничения, такие, как волевые акты принятия решения:

$$F_{\text{волев}}=Q(u)(z^*-s)^2\in G_{\text{волев}}, \tag{8.25}$$

где $G_{\text{волев}}$ — допустимое множество.

Воздействия учителя-инструктора также не беспредельны из-за ограниченности восприятия:

$$F_{\text{обуч}}=F(u)(z-s)^2\in G_{\text{обуч}}. \tag{8.26}$$

В соответствии с сформулированной выше целью привития навыков по операции выбора можно образовать показатель эффективности процесса обучения, объединяя в нем (субъективно понятую) цель и затраты на обучение — в виде взвешенного обучающего воздействия:

$$J_{\Sigma}=k^{(1)}Q(u)(z-s)^2+k^{(2)}F(u)(s-z)^2. \tag{8.27}$$

Первое слагаемое характеризует цель, поставленную обучаемым, а так как он не знает значения $z$, то в этом слагаемом может быть взято лишь $(z^*-s)$ в качестве стимулирующей мотивации

с «силой» $Q(u)$. Второе слагаемое для инструктора аналогично. Получившаяся вариационная задача оптимизации процесса обучения (8.23)—(8.27) позволяет найти при ее решении управляющие параметры $F(u)$ и такие их взаимоотношения с $Q(u)$, при которых показатель (8.27) достигнет наименьшего значения. В этом случае цель будет достигнута при взвешенно-малых затратах на обучение. В рассматриваемом варианте модели задачи (8.23), (8.25)—(8.27) рассмотрим лишь статический вариант, когда решение (8.23) уже имеется в виде зависимости (8.24). В этом случае оптимальность управляющих воздействий определяется из условия:

$$\min\{J_{\Sigma}[F(u)]/s=\bar{s};\ F_{\text{волев}}\in G_{\text{волев}};\ F_{\text{обуч}}\in G_{\text{обуч}}\}. \tag{8.28}$$

При сравнительно простых преобразованиях выражения (8.27) с учетом (8.24) можно найти, что

$$J_{\Sigma}=\frac{(z^*-z)^2}{(F(u)+Q(u))^2}\,Q(u)\,F(u)\,(k^{(1)}F(u)+k^2Q(u)). \tag{8.29}$$

Экспериментальные исследования позволяют выделить достаточно емкую область допустимых значений (8.25), (8.26), для которой из (8.28) следует, что

$$\frac{dJ_{\Sigma}[F(u)]}{dF(u)}=0. \tag{8.30}$$

Из соотношений (8.28) и (8.30) с учетом (8.29) следует, что эффективность обучения операции выбора, как элементарной операции принятия решения будет наибольшей, если выполняется хотя бы одно из следующих трех условий:

$$z^*=z. \tag{8.31}$$

Это условие эквивалентно достижению цели обучения вида (8.22), когда обучаемый воспринимает правильный выбор решения как субъективную истину. В этом условии проявляется фундаментальный принцип детерминизма, в соответствии с которым то, что навязывается учителем-инструктором в качестве эталона $z$, опосредуется, преломляется через внутреннее понимание. Это условие чаще выступает в виде $z^*-z\leqslant\varepsilon$ и служит свидетельством конца процесса обучения данной операции

$$Q(u)\,F(u)=0. \tag{8.32}$$

Данное условие не является простым и говорит о том, что обучение операциям выбора будет наиболее эффективным, когда один из управляющих параметров не равен нулю: либо тот из параметров, который служит целиком проявлением волевого акта обучающегося (случай полного самообразования при полной уверенности в своих силах у обучаемого), либо тот, который является результатом воздействия учителя-инструктора (это случай наиболее «послушного», но безынициативного обучаемого). Сложность условия (8.32) состоит в том, что оно в количественной форме выражает в известной степени общий закон единственности или исключитель-

ности активности, предложенный академиком П. К. Анохиным [139]. Так, из условия (8.32) следует, что процесс обучения идет «ступенчато». При поочередном, но не одновременном влиянии воздействий происходит как бы рандомизация — смешивание воздействий, каждое со своим «весом», определяемым его длительностью и силой. Примером выполнения условия (8.32) может служить операция принятия решения при УВД, когда при обучении под воздействием инструктора $F(u)$ (по его указаниям) необходимо выбрать способ избежания конфликтной ситуации при УВД путем смены эшелона, а под воздействием прежнего опыта либо навыков $Q(u)$ — способ смены курса. Ясно, что одновременно выбирать необходимый эшелон и тут же принимать решение о необходимом изменении курса практически невозможно. Известные попытки активации более одного центра приводили к эффекту раздвоения деятельности, что вызывало серьезные нарушения нервно-психического состояния [127]. Из (8.30) вытекает

$$(z^* - z)^2 Q(u) \frac{(k^{(1)} F(u) + k^2 Q(u))(Q^2(u) - F^2(u))}{(F(u) + Q(u))^3} = 0.$$

Из этого условия следует, что либо $z^* - z = 0$, либо

$$Q(u)(Q^2(u) - F^2(u))(k^{(1)} F(u) + k^{(2)} Q(u)) = 0. \qquad (8.33)$$

Знак второй производной $\operatorname{sign} \frac{\partial^2 J[F(u)]}{\partial F^2(u)}$ свидетельствует о том, что в случае, если $Q(u) = |F(u)|$, или $F(u) = \frac{k^2}{k^1} |Q(u)|$, то показатель эффективности, характеризующей меру отклонения от правильного выбора и потери при обучении, достигает своего наибольшего значения, т. е.

$$J_2[F(u)] \to \max \text{ при } F(u) = Q(u) \frac{k^{(2)}}{k^{(1)}}. \qquad (8.34)$$

Из выражения (8.33) следует также, что в случае выполнения условий:

$$F^3(u) + \frac{k^{(2)}}{k^{(1)}} Q(u) F^2(u) - Q^2(u) F(u) - \frac{k^{(2)}}{k^{(1)}} Q^3(u) = 0; \qquad (8.35)$$

$$F(u) = f\left(\frac{k^{(2)}}{z^{(1)}}, \; Q(u)\right)$$

показатель $J_2[F(u)]$ достигает своего наименьшего значения. Таким образом, условия (8.35) дают наибольшую эффективность обучения, как и условия (8.31) и (8.32), и позволяют найти отдельное значение воздействия учителя-инструктора, которое обеспечивает наилучший процесс обучения. Их реализация каждый раз зависит от индивидуальных свойств обучаемого $Q(u)$. При этом условия (8.35) в количественной форме отражают известный принцип педагогики, состоящий в индивидуальном подходе к обучаемому.

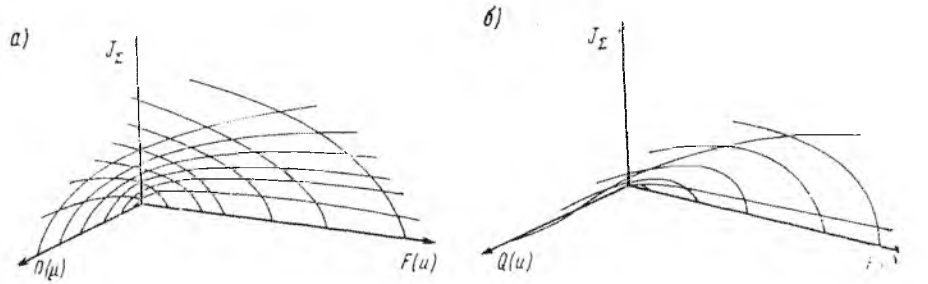



Рис. 8.9. Качественный характер изменений показателя потерь при обучении в зависимости от различных значений факторов процесса обучения:

$а$ — при $\frac{k^1}{k^2}=1$; $б$ — $\frac{k^1}{k^2}=10$

Соотношения (8.35) позволяют сделать несколько достаточно емких выводов. Так, из них следует некоторая симметрия внутреннего $Q(u)$ и внешнего $F(u)$ управляющих воздействий на процесс обучения. В силу наличия ограничений (8.25) и (8.26) значения активностей воздействий не могут сколько угодно возрастать. Таким образом, существуют предельные значения на осях $F(u)$ и $Q(u)$, внутри которых характер поведения показателя $J_\Sigma$ как функции (8.29) виден из рис. 8.9. Полученные условия (8.31), (8.32), (8.34) и (8.35), а также характер поверхности $J_\Sigma=J\left[F(u),\ Q(u),\ \frac{k^{(1)}}{k^{(2)}}\right]$ позволяют заключить, что точка, в которой $\frac{k^{(2)}}{k^{(1)}}Q(u)=F(u)$, является невыгодной по затрачиваемым усилиям на обучение и неустойчивой для процесса обучения, так как любое нарушение равенства смещает и значение $J_\Sigma$ в сторону минимизации указанных усилий.

Из теории устойчивости процессов А. М. Ляпунова [142] следует, что устойчивым положением будет такое, при котором одно из воздействий преобладает, а второе становится как бы подчиненным. Этот вывод еще раз подтверждает закон единственности активности П. К. Анохина, вследствие которого для данного случая процесса не может быть обучения при обеих нулевых $Q(u)$ и $F(u)$ одновременно, как не может быть эффективного обучения и при выполнении соотношения (8.34).

Высказанные положения позволяют утверждать, что системы, в которых протекает процесс обучения, стремятся не к минимуму активности либо принуждения, а к минимуму неопределенности, минимизируя энтропию — состояние, в котором не ясно, какое из взвешенных воздействий должно преобладать $\frac{k^2}{k^1}Q(u)$ либо $F(u)$.

Таким образом, система обучения существует, функционирует, живет, если существует определенность, ясность, какое из воздей-

ствий доминирует в данный момент. Активность доминирующего воздействия согласно (8.35) нарастает с ростом активности «внутреннего» интереса к обучению $Q(u)$ и доходит до определенной границы, определяемой выражением (8.26), после чего инициатива берет на себя воздействие $Q(u)$, нарастая и доходя при этом до своего граничного положения, определяемого из (8.25). Так подтверждается в количественной форме найденные А. А. Ухтомским [140] доминантные отношения, в которых господствующее воздействие и подчиненное в системе могут меняться местами, отражая тем самым наиболее распространенный «релейный» режим работы нервных центров у обучаемого, один из которых ответственен за генерацию $Q(u)$, а другой за восприятие $F(u)$. Переходный процесс при этом осуществляется в соответствии с решением системы (8.23) при пропорционально нарастающей активности одного из воздействий (8.35).

Полученные соотношения для процесса обучения операциям выбора и новые общие закономерности, а также количественные выражения для некоторых уже известных закономерностей общей теории обучения позволяют оптимизировать процесс обучения, строя тактику рационального взаимодействия учителя-инструктора и обучаемого. Формализация основных моментов такой тактики в известной степени равносильна построению алгоритма автоматизированной адаптивной обучающей системы в виде комплекса, состоящего из учебного диспетчерского тренажера и ЭВМ [12, 124].

### Контрольные вопросы

1. Что подтверждает целесообразность и возможность постановки вопросов моделирования процессов обучения операциям принятия решений?
2. Чем определяется эффективность принятия решения?
3. Определите место процесса принятия решения в общей схеме деятельности оператора.
4. Какая операция принимается в качестве элементарной в процессе принятия решения?
5. Запишите выражение, отражающее цель привития навыков выбора.
6. Поясните отличие субъективно понимаемой правильности выбора обучаемым и учителем-инструктором.
7. Дайте обоснование вывода дифференциального уравнения процесса обучения операции выбора. Выпишите значение установившегося его решения.
8. Какие ограничения накладываются на параметры процесса обучения операции выбора?
9. Приведите основания к формированию показателя эффективности процесса обучения операции выбора.
10. Дайте формулировку и характеристику задачи оптимизации процесса обучения для рассматриваемого случая операций.
11. Перечислите полученные условия наибольшей эффективности процесса обучения.
12. Какие принципы и законы формализуются с помощью полученных условий?
13. В чем заключается смысл закона минимизации неопределенности?
14. Каким образом полученные результаты сказываются на автоматизации процесса обучения?

## 8.4. Алгоритмизация процессов обучения специалистов УВД

Высокий уровень и темпы развития авиационной техники, а также всего комплекса научно-технического обеспечения системы УВД значительно увеличивают объем знаний и количество навыков, которыми должен обладать специалист по управлению воздушным движением. Между тем возможности усвоения определенного количества сведений и способности приобретения навыков в заданные сроки не беспредельны. Поэтому единственно возможный путь удовлетворения постоянно возрастающим требованиям к уровню подготовки специалистов УВД заключается в резком повышении эффективности самого процесса обучения. Наиболее известными методами повышения эффективности являются методы, основанные на применении программированного обучения и широком внедрении технических средств обучения [143]. Если ограничиться рассмотрением вопросов только лишь профессиональной подготовки специалистов УВД, то указанный путь оказывается неразрывно связанным с совершенствованием тренажерной подготовки. Поэтому, начиная со второй половины 50-х годов в странах со значительной интенсивностью воздушного движения наряду со развитием и усложнением самой системы УВД ширится и применение учебных диспетчерских тренажеров (УДТ). При этом наблюдается постоянная тенденция к нарастанию числа функций, выполняемых УДТ. Сюда относятся и возможности имитации динамической воздушной обстановки, включающей различные структуры воздушного пространства, моделирование движения значительного числа летательных аппаратов различного класса, моделирование работы радиотехнических средств УВД, радиосвязи, помех, метеоявлений, взаимодействия диспетчера с экипажами летательных аппаратов и др. [124]. Таким образом, достигается высокая степень достоверности имитируемых условий УВД, что позволяет нормировать наращивание числа операций, упражнений, отрабатываемых задач.

Использование в тренажерах самых современных ЭВМ позволяет ставить вопрос не только об имитации условий и возможности их дифференциации и тиражирования, а и об автоматизации самого процесса обучения. Здесь имеется в виду в общей схеме процесса обучения (см. рис. 8.1) некоторые функции учителя-инструктора по оценке уровня обученности, выработке тактики и программы обучения (набор и порядок операций, частость их повтора и др.) передать УДТ, в состав которого входит ЭВМ с достаточно емкой памятью и значительным быстродействием. Необходимость и целесообразность такой передачи ряда функций учителя-инструктора машине обоснован тем, что в противном случае трудно выполнить основные принципы и условия, соответствующие оптимальному процессу обучения. Данный вывод является следствием следующих причин.

В существующей системе тренажерной подготовки инструктор имеет дело одновременно с многими обучаемыми (от 5 до 30 в за-

висимости от типа УДТ) и не может оперативно управлять процессом обучения каждым из них. В этом случае в значительной мере нарушается принцип индивидуального подхода, так как одному инструктору трудно подобрать каждый раз для каждого обучаемого собственное воздействие в соответствии с полученным в п. 8.3 условием (8.35).

Вторая причина обусловлена тем, что практически все операции, упражнения и задачи, отрабатываемые на тренажере, как правило, рассчитаны на «среднего» обучаемого. Поэтому одна часть из них на тренаже не работает в полную силу, отвлекается, теряет только что наметившиеся связи при формировании ИФС, что тут же сказывается на уровне усвоения обучаемым навыкам. У другой части обучаемых, наоборот, не успевает сформироваться устойчивая ИФС, что также сказывается на уровне приобретаемых навыков. В результате у обеих групп обучаемых наблюдаются непрочные навыки выполнения операций.

Третья причина состоит в отсутствии у инструктора возможности осуществления систематического и стимулнрующего контроля. Это затрудняет оценку инструктором действительного состояния процесса обучения для каждого из обучаемых и выработку $F_j(u)$ для каждого из них. Он не может следить и за моментами активного периода работы обучаемого, когда доминируют внутренние воздействия обучаемого $Q(u)$. Это практически исключает анализ инструктором правильности понимания обучаемым целей, т. е. выявления величины $\Delta = z - z^*$ — степени непонимания обучаемым истинного значения, например, операции процесса принятия решения.

Если предположить, что тактико-технические данные ЭВМ позволяют реализацию достаточно сложных алгоритмов, оптимизирующих процесс обучения для каждого из обучающихся, то вся задача повышения эффективности процесса обучения концентрируется главным образом на разработке именно таких алгоритмов. Грубоориентировочная схема процесса обучения при включении ЭВМ в цепь контура «учитель-инструктор — обучаемый» состоит в следующем.

В памяти ЭВМ закладывается набор операций упражнений и задач, взаимосвязанных в виде иерархической системы (см. рис. 8.3). По каждой из операций, каждому упражнению и задаче известен и введен в машину показатель, определяющий допустимый уровень качества выполнения данной операции, при достижении которого обучение считается законченным. Здесь допустима и дифференциация результатов обучения в виде оценок. По результатам действий обучаемого на тренажере с помощью программы оценивается состояние процесса его индивидуального обучения. Сравнивая состояние процесса обучения с показателем, программа обучения вырабатывает дальнейшие воздействия — операции, упражнения и задачи, отрабатываемые в определенном количестве.

Программа обучения может служить вариантом машинной реализации решения задач оптимизации процесса обучения (8.2) —

(8.10) и (8.23)—(8.27). В первой из них при обучении операционным навыкам машиной выбираются оптимальные функции непосредственного управления, такие, как время тренажа по отработке данной операции, количество повторов и другие, а также последовательность операций, что определяет оптимальные функции косвенного управления процессом обучения. Все эти данные сообщаются с помощью специального экрана или табло инструктору, ведущему обучение. Аналогично и во второй задаче вырабатываются оптимальные значения степени воздействия на обучаемого. Это в «машинном» варианте (где ЭВМ выступает вместе с инструктором) соответствует оценкам и замечаниям, выдаваемым инструктору машиной на световом табло или по «голосовой системе». Таким образом, во всех вариантах возможна автоматизация процесса обучения, когда деятельность инструктора существенно облегчается.

Основные трудности реализации такой схемы связаны с разработкой алгоритмов ЭВМ, решающих задачи оптимизации процесса обучения для каждого из обучаемых, и обоснованием показателей, определяющих допустимый уровень отрабатываемых операций, упражнений и задач, особенно для усложненных вариантов.

Если разработку алгоритмов оптимизации процесса обучения можно осуществлять с помощью различного рода упрощений, то без обоснования и формализации показателей обученности (определяющих допустимый уровень качества выполнения каждой операции, упражнения и задачи) осуществление автоматизации процесса обучения в полной мере не удается.

Рассмотрим один из возможных вариантов метода построения таких показателей в виде комплексной оценки деятельности обучаемого в процессе отработки операций, упражнений и задач. При этом могут быть активно использованы результаты, полученные при разработке показателей эффективности процессов в системе УВД.

Один из возможных подходов к проблеме построения комплексных оценок обучаемых базируется на применении принципа декомпозиции, который позволяет выделить ряд типовых операций, упражнений и задач принятия решения, каждая из которых характеризуется своими локальными целями, математическими моделями, методами формализации и решения (см. рис. 8.3). Выделенные таким образом задачи, взаимосвязанные технологическим процессом функционирования системы УВД, позволяют построить иерархическую структуру показателей эффективности и оценок деятельности как обучаемого в процессе обучения, так и диспетчера, осуществляющего непосредственное УВД. При этом полагают, что показатель эффективности $J^{(r)}_{\Sigma(v)}$ на более высоком $r$-м иерархическом уровне, соответствующем укрупненным задачам, может быть выражен в виде функциональной зависимости от совокупности параметров и факторов, где в качестве последних выступают показатели эффективности решения упражнений $J^{(r+1)}_{y}$, выделенных на

нижележащем $(r+1)$-м уровне, например, в виде взвешенной суммы:

$$J_{\Sigma}^{(r)} = \sum_{\nu=1}^{\mu} \omega_{\nu}^{(r)} J_{\Sigma(\nu)}^{(r+1)},$$

где $\omega_{\nu}^{(r)}$ — параметры, отражающие значимость (весомость) обеспечения экстремальных свойств при решении упражнений $(r+1)$-го уровня для достижения необходимой эффективности задач на $r$-м уровне.

В общем случае решение проблемы построения подобных комплексных показателей, позволяющих оценивать уровень подготовки и качество деятельности, основывается на анализе качественных и количественных характеристик процесса, реализуемого при решении типовой задачи УВД, с учетом особенностей накладываемых на систему УВД в целом ее отдельными звеньями. При этом часто оказывается, что отношение рациональности (или предположительно — оптимальности) деятельности обучаемого и диспетчера в конкретных условиях решаемой задачи УВД удается установить лишь на качественном описательном уровне. Поэтому актуальными являются вопросы формального описания критериев оптимальной (рациональной) деятельности обучаемого и диспетчера.

Достигнуть поставленной цели можно с помощью подхода, в основу которого положен принцип оценки конечного результата реальной деятельности опытного диспетчера. Предполагается, что некоторый опытный и грамотный диспетчер осуществляет деятельность оптимальным (субоптимальным) образом в смысле некоторого критерия оптимальности, отражающего в интегральном виде представления этого диспетчера о целях и требуемых результатах УВД при решении стоящих перед ним в реальной ситуации задач. Такое допущение справедливо, если решение задач в процессе УВД осуществляется с соблюдением установленного регламента, определяющего в явном или неявном виде перечень требуемых целей, а также правила принятия решений.

В этом случае формализация критерия оптимальности деятельности, в области экстремума которого работает диспетчер в процессе УВД, возможна с помощью решений обратной задачи теории оптимальных процессов, суть которой состоит в установлении структуры и параметров критерия оптимальности на основании известных результатов решений задач УВД, отражающих экстремальные свойства деятельности диспетчера в конкретных условиях.

В общем случае в реальной ситуации возможна нестабильность (изменчивость) критериев оптимальности деятельности диспетчера, проявляющаяся в участии различных диспетчеров в процессе УВД, нестационарности их профессионально-психологических свойств и качеств в процессе УВД. В этих условиях возникают важные задачи оценки степени снижения качества функционирования системы из-за проявления отмеченных факторов, а также обоснования адекватности и объективности построения критериев опти-

мальности деятельности. Отмеченные трудности могут быть преодолены путем совместного использования методов теории обратной задачи оптимизации и методов экспертной оценки для построения комплексных оценок деятельности. Специфика применения этих методов в значительной степени определяется характером математических моделей процессов решения задач УВД. Процесс функционирования системы УВД (в реальных условиях или для обеспечения представительности выборок на специальных тренажерах) многократно наблюдается группой экспертов, а также подвергается аппаратурной регистрации.

Для каждой $i$-й реализации на основании идентифицированных по данным регистрации значений функции управления $u$ и вектора обобщенных фазовых координат $q$ (отклонений от программной траектории снижения) решается обратная задача теории оптимальных процессов, т. е. находится та обобщенная характеристика $i$-й реализации процесса, определяющая интегральные свойства и качества, которыми обладали в процессе конкретной $i$-й реализации технические и эргатнческие элементы системы. При постоянных технических характеристиках системы (один и тот же тип летательных аппаратов, использование тех же средств отображения информации и др.), а также учитывая положительную мотивацию к деятельности как у диспетчера, так и у обучаемого, можно считать, что процесс УВД в каждой реализации осуществляется диспетчером с использованием экстремальных возможностей, которые определяются в основном профессионально-психологическими качествами. В этом смысле построенная обобщенная характеристика может рассматриваться как показатель оптимальности деятельности обучаемого и диспетчера при соответствующем уровне профессиональной подготовки и готовности к деятельности в условиях $i$-й реализации.

Каждая $i$-я реализация процесса УВД, кроме того, подвергается одной из процедур экспертной оценки. Анализ и обработка результатов экспертной оценки позволяют произвести разбиение реализацией и соответствующих им показателей на ряд классов в соответствии с системой предпочтений, используемой при экспертной оценке. Параметры, образующие ядро показателя оптимальности, в каждом классе усредняются по одной из процедур сглаживания.

Классы, в свою очередь, характеризуются различными уровнями качества функционирования системы, а следовательно, определяются различными требованиями, предъявляемыми к уровню качества, соответствующего ситуации класса задач, а значит, и всей профессиональной подготовки обучаемых и диспертчеров по отработанности у них навыков. Возможность такого обоснования построения и классификации показателей создает предпосылки к объективной оценке качества деятельности обучаемых и диспетчеров на этапе захода на посадку как в процессе обучения, так и в реальных условиях.

Использование базовых показателей $J^{(s)}$ для оценки деятельности диспетчера или уровня подготовки обучаемого может быть ос-

новано на решении обратной задачи оптимизации в отношении полученного показателя оптимальности $J$, который приписывается к одному из классов по схеме определения наименьшего расстояния $J$ от базовых $J^{(s)} = (s = \overline{1, n})$ в пространстве их параметров.

Теория обратной задачи позволяет получить конструктивные решения наиболее просто в случае, когда управляющие функции могут быть представлены в виде линейных комбинаций обобщенных координат системы, изменение которых описывается системой линейных дифференциальных уравнений.

Предлагаемый подход к построению и использованию комплексной оценки деятельности обучаемого (или) и диспетчера УВД при выбранном математическом аппарате формализации рассмотренных процедур может быть автоматизирован с помощью ЭВМ, включенной в контур тренажера, используемого в процессе обучения и повышения квалификации диспетчерского состава.

**Контрольные вопросы**

1. В чем состоит основная тенденция совершенствования процесса подготовки специалистов УВД?
2. Дайте обоснование необходимости автоматизации тренажерной подготовки специалистов УВД.
3. Приведите общую характеристику схемы процесса обучения при включении ЭВМ в цепь контура обучения. В чем состоит основная трудность ее реализации?
4. Поясните физический смысл иерархической структуры показателей эффективности и оценок деятельности обучаемого.
5. Какие основные допущения приняты при построении комплексных показателей и оценок деятельности?
6. Приведите описание общей канвы построения показателей и оценок деятельности обучаемого на примере решения задач по УВД при заходе на посадку.

## Глава 9

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

### 9.1. Общие принципы планирования воздушного движения

Планирование воздушного движения является этапом функционирования системы УВД, в значительной степени определяющим эффективность системы УВД в целом. В общем случае под планированием понимают совокупность мероприятий, направленных на обработку информации о характере предполагаемого воздушного движения в интересах обеспечения безопасности полетов, эффективного использования воздушного пространства и создания необходимых условий для качественного осуществления УВД. В зависимости от длительности временного интервала, на который осуществляется планирование воздушного движения, различают пред-

варительное и текущее планирование. Реализация каждого из этих видов должна учитывать целый ряд специфических характеристик, присущих системе УВД на различных этапах ее развития и функционирования. При этом степень учета определяется прежде всего целями и задачами, решаемыми при каждом из названных видов планирования.

Основная цель предварительного планирования воздушного движения состоит в приведении в соответствие интенсивности планируемых потоков летательных аппаратов с пропускной способностью системы УВД при удовлетворении ограничений на уровень показателей регулярности, экономичности и надежности. Эти ограничения учитываются в требованиях по времени стоянки и вылета, сокращению общего времени нахождения летательных аппаратов в воздухе, использованию экономически выгодных эшелонов, а также учету возможных изменений пропускной способности системы УВД.

Достигнуть поставленной цели можно путем осуществления соответствующей организации процесса планирования воздушного движения, в основу которого положен ряд общесистемных принципов, конкретизируемых с учетом специфических особенностей реализации процесса планирования.

В качестве основных принципов выделяются такие, как принцип декомпозиции и формирования частных целей и задач и принцип рациональной организации потоков воздушного движения.

Применение принципа декомпозиции позволяет рассматривать процессы планирования воздушного движения на уровне отдельных звеньев организационной структуры МГА, осуществляющих планирование. Использование принципа формирования частных целей и задач на всех уровнях планирования обеспечивает учет как структурно-организационных, так и технико-экономических факторов, совокупность которых определяет эффективность системы УВД и отдельных ее звеньев. Принцип рациональной организации потоков наиболее полно раскрывается в виде частных принципов «равнопрочности», минимизации нагрузки на элементы системы УВД и координации решений.

Принцип декомпозиции позволяет расчленить процесс предварительного планирования на долгосрочное, суточное и оперативное.

Результатом долгосрочного планирования является расписание движения летательных аппаратов на длительный период (летней или зимней навигации). Суточное планирование, использующее результаты предыдущего планирования, заключается в составлении планов воздушного движения на предстоящие сутки и реализуется с учетом дополнительных факторов, к которым относятся заявки на полеты, не предусмотренные при долгосрочном планировании, а также различные ограничения, налагаемые на воздушное движение в той или иной зоне УВД.

Оперативное планирование заключается в контроле и корректировке суточного плана в случае задержек вылетов по метеорологическим или другим причинам, изменения пропускной способности

отдельных зон УВД, например, из-за неисправности (или проведения профилактических работ) радиолокационных станций и других факторов, приводящих к невозможности практической реализации планов полетов, полученных в результате второй операции.

Одним из основных факторов, определяющих качество предварительного планирования, является обеспечение равномерной нагрузки на зоны УВД. Неучет этого требования на этапе планирования приводит к неравномерности распределения потоков воздушного движения во времени и пространстве. Неравномерность потоков создает предпосылки к возникновению ситуаций, когда в зоне УВД или части ее воздушного пространства может находиться количество летательных аппаратов, превышающее допустимое с точки зрения уровня нагрузки на диспетчерский состав службы движения. Увеличение нагрузки сопровождается снижением надежности работы диспетчера, что затрудняет своевременный анализ воздушной обстановки и принятие решений. Это, в свою очередь, может привести к возникновению опасных сближений летательных аппаратов.

С целью обеспечения безопасности полетов диспетчерский состав вынужден назначать экономически невыгодные эшелоны и применять другие методы обеспечения безопасности полетов, включая задержки летательных аппаратов в зонах ожидания и на земле. Таким образом, неравномерность распределения потоков воздушного движения вызывает снижение значений показателей экономичности и регулярности. Отклонения воздушного движения от запланированного могут вызвать еще большее нарушение регулярности, что при высокой интенсивности может привести к тому, что в определенные периоды интенсивность движения будет превышать уровень пропускной способности как отдельных участков, так и зоны УВД в целом. Поэтому одной из важнейших задач этапа предварительного планирования оказывается задача рациональной организации потоков воздушного движения.

Под рациональным предварительным планированием воздушного движения понимается такой процесс обработки информации о предполагаемом воздушном движении, при котором расчетные значения ожидаемой нагрузки на элементы системы УВД подчиняются принципу «равнопрочности» и не превышают ее допустимого значения. При этом качество решений задач предварительного планирования оценивается прежде всего эффективностью их использования при текущем планировании полетов на этапе осуществления УВД, что проявляется в их влиянии на главные показатели функционирования системы УВД, в том числе и на показатели безопасности полетов. Поэтому рациональные решения должны удовлетворять принципу «равнопрочности», гарантирующему минимизацию возможности (например, в вероятностном смысле) появления конфликтных ситуаций в процессе осуществления УВД.

Одним из основных факторов, определяющих качество процесса предварительного планирования воздушного движения, являются неравномерность полетов в особых точках воздушных трасс, к

которым относят обычно точки пересечения, схождения и другие в течение суток и совмещение пиков интенсивности потоков воздушного движения по расписанию и вне расписания. Первый из этих факторов, как правило, является следствием невозможности глобального учета пропускной способности воздушных трасс (особенно точек их пересечения) и диспетчерских пунктов УВД при суточном планировании полетов отдельными аэропортами. Второй фактор определяется социально-экономическими аспектами.

Сложность учета этих факторов усугубляется отклонениями времени вылета и пролета контрольных точек от запланированного. Это приводит к нецелесообразности рационального предварительного планирования воздушного движения с учетом предотвращения конфликтов путем проверки норм безопасности между каждой парой летательных аппаратов на основании решения детерминированной оптимизационной задачи такого вида:

минимизировать

$$J_{\Sigma} = \sum_{s}^{N} \sum_{k}^{m} \omega_{sk} \mid t_k^{(s)} - t_k^{(s0)} \mid \qquad (9.1)$$

при ограничениях

$$t_k^{s+1} - t_k^s \geqslant \tau_k, \; a_k^{(s1)} \leqslant t_k^{(s)} \leqslant a_k^{(s2)} \; (k = \overline{1,\; m};\; s = \overline{1,\; N}), \qquad (9.2)$$

где $t_k^{(s0)}$, $t_k^{(\cdot)}$ — соответственно начальное и скорректированное планируемое время пролета $k$-й контрольной точки летательным аппаратом, выполняющим $s$-й рейс; $\tau_k$ — допустимый временной интервал следования летательных аппаратов в районе $k$-й контрольной точки; $(a_k^{(s1)}, a_k^{(s2)})$ — интервал допустимых отклонений; $\omega_{sk}$ — коэффициент веса, учитывающий важность отдельных рейсов; $J_{\Sigma}$ — показатель эффективности процесса планирования, характеризующий в данном случае, например, суммарные отклонения от начальных планов полетов.

В этих условиях актуальными становятся вопросы установления и использования для планирования воздушного движения не времени пролета $t_k^{(j)}$ а таких обобщенных характеристик потоков летательных аппаратов, которые, с одной стороны, учитывали бы ограниченные возможности системы УВД в целом и отдельных ее звеньев по пропускной способности, а с другой стороны, были бы нечувствительными к имеющим место отклонениям при выполнении планов полетов. Один из воможных путей выявления таких характеристик основывается на анализе точности выполнения суточного плана воздушного движения по отношению к заданному времени пролета контрольных точек на воздушных трассах.

В результате ряда научных и экспериментальных исследований, проведенных в ЦНИИ АСУ ГА, НЭЦ АУВД и ОЛАГА, определены вероятностные характеристики распределения летательных аппаратов в потоке на воздушной трассе и установлены корреляцион-

ные зависимости, необходимые для построения возможных математических моделей процесса предварительного планирования воздушного движения. Установлено, что между запланированной и фактической интенсивностью воздушного движения имеется достаточно высокая положительная корреляция, т. е., если воздушное движение спланировано так, что имеет место перегрузка по пропускной способности одного из звеньев системы УВД, то в процессе выполнения такого плана даже при значительных нарушениях регулярности отдельных рейсов следует ожидать сохранение пиков интенсивности воздушного движения в тех же интервалах времени. При этом диспетчерский состав будет по-прежнему испытывать значительные сложности в своей работе, которые могут стать одной из причин нарушения требований по безопасности и экономичности воздушного движения.

Наличие выявленной закономерности как раз и позволяет объективно установить одну из обобщенных характеристик воздушного движения, адекватных процессу предварительного планирования. В качестве такой характеристики можно, например, выбрать запланированную интенсивность полетов в наиболее характерных точках воздушных трасс, усредненную по интервалам времени заданной продолжительности:

$$\lambda_{ij}(P)=\frac{\Delta N_{ij}}{\Delta t_j}\ (i=\overline{1,\ M};\ j=\overline{1,\ r});\quad \sum_{j=1}^{r}\Delta t_j=T,$$

где $\lambda_{ij}(P)$ — запланированная интенсивность воздушного движения в $i$-й характерной точке в $j$-м интервале времени; $P$ — множество планов полетов в рассматриваемой зоне, задающих пространственно-временное положение отдельных летательных аппаратов в виде совокупности параметров (высота полета, время пролета контрольных точек и т. д.); $\Delta N_{ij}$ — количество летательных аппаратов, пролетающих через $i$-ю точку в течение $j$-го интервала времени; $\Delta t_j$ — длительность $j$-го интервала времени; $M$ — количество рассматриваемых характерных точек, определяемое в основном структурно-организационными факторами и обеспечением радиолокационным контролем; $T$ — длительность периода планирования.

Использование в качестве обобщенной характеристики величин $\lambda_{ij}(P)$ позволяет основную функцию предварительного планирования с учетом принципа «равнопрочности» представить в виде задачи сглаживания неравномерности воздушного движения в отдельные интервалы времени и предотвращения планируемых перегрузок воздушных трасс и диспетчеров УВД. Реализация этой функции возможна путем изменения времени вылета, пролета отдельных точек воздушных трасс или маршрутов и эшелонов следования летательных аппаратов и др. При этом применение принципа рационального планирования позволяет рассматривать реализацию основной функции как результат решения задачи оптимизации, которая в общем виде может быть формализована следующим обра-

зом. Найти множество планов полетов такое, при котором обеспечивается

$$\min_P I^{(1)}(\lambda_{ij}(P)) = \min_P \max_{ij} \lambda_{ij}(P) \tag{9.3}$$

либо

$$\min_P I^{(2)}(\lambda_{ij}(P)) = \min_P \{I_1^{(2)},\ I_2^{(2)}\}, \tag{9.4}$$

где $I_1^{(2)} = \max\limits_{i=\overline{1,\ M};\ j=\overline{2,\ r}} |\lambda_{ij} - \lambda_{ij-1}|$;

$$I_2^{(2)} = \max_{i=\overline{2,\ M};\ j=\overline{1,\ r}} |\lambda_{ij} - \lambda_{i-1j}|,$$

либо

$$\min_P I^{(3)}(\lambda_{ij}(P)) = \min_P \left\{ \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{r-1} \sum_{l=1}^{M} \sum_{k=j}^{r} (\omega_{ij}\lambda_{ij} - \omega_{lk}\lambda_{lk})^2 \right\}; \tag{9.5}$$

При этом должны учитываться дополнительные ограничения:

$$\lambda_{ij}(P) \leqslant \bar{\mu}_i (i = \overline{1,\ M};\ j = \overline{1,\ r}); \tag{9.6}$$

$$\eta_s(P) \leqslant \bar{m}_s (s = \overline{1,\ n}), \tag{9.7}$$

где $\bar{\mu}_i$ — пропускная способность $i$-й точки; $\bar{m}_s$ — допустимый уровень нагрузки на $s$-й диспетчерский пункт.

Выбор одного из показателей вида (9.3) — (9.5) определяет различные экстремальные характеристики процесса предварительного планирования. Так, использование показателя вида (9.3) обеспечивает минимизацию пиковой нагрузки во всех выделенных особых точках (частях) зоны УВД на протяжении всего периода планирования. Показатель вида (9.4) соответствует максимальному сглаживанию различий в загрузке между особыми точками в любой момент времени. Введение коэффициентов $\omega_{ij}$ в выражение (9.5) позволяет установить предпочтение в сглаживании загрузки в отдельных точках, например, исходя из учета организационных факторов.

Рассмотренные принципы рационального предварительного планирования воздушного движения в общем виде легко распространяются на случай нескольких зон УВД. Такое обобщение, эквивалентное объединению (укрупнению) операций, осуществляется путем формирования комплексного показателя эффективности для рассматриваемой совокупности зон УВД, что позволяет не только реализовать процесс предварительного планирования как единую операцию, но и максимально учесть различия организационных решений и их влияние на качество процесса планирования в отдельных зонах УВД. Важность и необходимость такого учета диктуется неразрывностью процесса планирования от других этапов функционирования системы УВД, что проявляется в параметрической вза-

имозависимости рациональных решений по планированию воздушного движения и организации УВД.

Эта взаимосвязь решений в общем виде устанавливается из рассмотрения путей реализации основной функции планирования в виде решения задач (9.3), (9.6), (9.7). Анализ правых частей ограничений (9.6), (9.7) показывает зависимость их значений от ряда организационных факторов. Так, значения пропускных способностей в характерных точках определяются конфигурацией сети воздушных трасс, размещением и характеристиками технических средств навигации и УВД в рассматриваемой зоне. В свою очередь, уровень допустимой нагрузки на диспетчерские пункты $m_s(t)$ также в значительной степени определяется такими факторами, как принятые решения в рассматриваемой зоне УВД по делению воздушного пространства на зоны ответственности отдельных диспетчерских пунктов, оснащением техническими средствами УВД и связи, уровнем автоматизации УВД и др. Большое влияние на величину $m_s(t)$ оказывает используемая технология деятельности, определяющая временные затраты диспетчеров при УВД. Характер этой зависимости в первом приближении может быть выяснен при анализе $T_{\text{обсл}}$ — среднего времени, затрачиваемого на обслуживание одного летательного аппарата, которое определяется по формуле

$$T_{\text{обсл}} = K_{\text{ф}}[(t_{\text{св}} + t_{\text{реш}} + t_{\text{гр}} + t_{\text{сл}})n_{\text{св}} + t_{\text{рл}}n_{\text{рл}}],$$

где $t_{\text{св}}$ — средняя длительность одного сеанса связи «диспетчер — экипаж летательного аппарата»; $t_{\text{реш}}$, $t_{\text{гр}}$, $t_{\text{сл}}$ — средние затраты времени на выработку решения, ведение графика и служебные связи, приходящиеся на один сеанс связи; $t_{\text{рл}}$ — среднее время одной операции радиолокационного контроля; $n_{\text{св}}$ — количество связей «диспетчер — экипаж летательного аппарата» при полете в зоне УВД; $n_{\text{рл}}$ — количество операций радиолокационного контроля; $K_{\text{ф}}$ — коэффициент, учитывающий физические возможности диспетчера по непрерывному УВД, время ознакомления с прогнозами метеообстановки и другие факторы. Обычно $K_{\text{ф}} \geqslant 1{,}1$.

При этом значения $n_{\text{св}}$, $n_{\text{рл}}$, $K_{\text{ф}}$, а также и временные затраты зависят от характеристик структуры сети воздушных трасс и потоков летательных аппаратов в зоне УВД, т. е. в общем случае можно считать, что

$$\overline{\mu}_i = \overline{\mu}_i(R_1),\ \overline{m}_s = \overline{m}_s(R_2)\ (i = \overline{1,\ M};\ s = \overline{1,\ n}),$$

где $R_1$, $R_2 \in R$ — подмножества организационных факторов, существенно влияющих на значения $\overline{\mu}_i$, $\overline{m}_s$.

Теперь взаимосвязь рациональных решений по планированию воздушного движения и организации УВД устанавливается из совместного рассмотрения исходной задачи планирования и задачи рациональной организации УВД. Последняя в данном случае может рассматриваться в следующем обобщенном варианте: определить значения организационных факторов $R$, наилучшим образом

соответствующих заданным характеристикам потоков воздушного движения в рассматриваемой зоне УВД:

$$\max_{R\in\bar{R}} \min_{i,j} f(\lambda_{ij},\ \mu_{ij}(R),\ m_s(R))\ (i=\overline{1,\ M(R)};\ j=\overline{1,\ r};\ s=\overline{1,\ n}), \tag{9.8}$$

где $\bar{R}$ — множество допустимых значений организационных факторов, а $f$ — функция предпочтительности решений, характеризующая рациональное соответствие пропускной способности и планируемой интенсивности воздушного движения в характерных точках зоны, количество которых $M=M(R)$ определяется принятыми организационными решениями.

Таким образом, анализ операций планирования показывает, что процесс планирования должен быть адекватным существующему уровню организации и осуществления УВД в конкретных зонах. Такое соответствие текущему уровню достигнутых результатов обеспечивается путем учета показателей эффективности решений для каждой зоны с различными весовыми коэффициентами.

Формально учет требований принципа «равнопрочности» может быть осуществлен в (9.1), (9.2) путем введения ограничений

$$\lambda_R(\tau_i) \leqslant \lambda_R(k=\overline{1,\ m};\ i=\overline{1,\ r})$$

и приведения показателя эффективности (9.1) к виду

$$\bar{J}_\Sigma = J_\Sigma + \sum_{k=1}^{m} M_k\lambda_k,$$

где $\lambda_k(\tau_i)$ — средняя интенсивность воздушного движения, планируемая в $i$-м интервале времени; $\lambda_k$ — максимально допустимая интенсивность движения в $k$-й контрольной точке; $M_k \gg 1$ — коэффициент, значение которого определяет штраф за неравномерность сглаживания интенсивности в $k$-й точке по отношению к остальным.

Однако такая схема формализации приводит к чрезмерному возрастанию сложности математической модели процесса предварительного планирования и практически неразрешимым вычислительным затруднениям, которые увеличиваются по мере возрастания полноты учета взаимодействующих потоков летательных аппаратов. Поэтому здесь целесообразно воспользоваться принципом декомпозиции и выделить в процессе предварительного планирования несколько последовательно выполняемых стадий, на первой из которых процесс планирования воздушного движения осуществляется укрупненно, т. е. для отдельных рейсов не рассчитываются конкретные значения пространственно-временных программ полета, а учитывается только распределение потоков летательных аппаратов по зонам УВД во времени. При этом ставятся задачи определения рациональной организации воздушного движения.

Анализ полученных решений позволяет осуществить распределение конкретных рейсов по потокам и произвести расчет предварительных планов полета, совокупность которых контролируется и оценивается по множеству показателей эффективности системы УВД в целом и при необходимости корректируется за счет реализации операции перепланирования потоков. Достоинством такого подхода является возможность учета в среднем влияния потоков воздушного движения вне расписания на этапе долгосрочного предварительного планирования на основании статистических данных, полученных на предыдущих этапах функционирования системы УВД.

Формализация задач, решаемых на первой стадии процесса предварительного планирования воздушного движения, возможна и при выборе других обобщенных характеристик, характеризующих качество решений с точки зрения сложности УВД, уровня загрузки диспетчеров и пропускной способности зон УВД, определяемой организационными решениями. В качестве одного из таких показателей при оценке общей эффективности системы УВД часто используется количество потенциально возможных конфликтных ситуаций в рассматриваемой зоне УВД при заданном варианте организационно-структурных решений [151].

**Контрольные вопросы**

1. Что понимают под планированием воздушного движения?
2. Перечислите виды планирования и определите их основные цели.
3. Какие основные принципы реализуются при планировании воздушного движения?
4. Что понимают под рациональным предварительным планированием?
5. Какие факторы влияют на качество предварительного планирования?
6. В чем состоят основные особенности использования обобщенных характеристик воздушного движения при предварительном планировании?
7. Раскройте содержание основной функции предварительного планирования?
8. Поясните взаимозависимость рациональных решений при планировании воздушного движения и организации УВД.

## 9.2. Методы предварительного планирования воздушного движения

Задачи предварительного планирования характеризуются явно выраженной иерархией структуры, которая может рассматриваться как по организационному, так и функциональному признакам. Эта особенность позволяет использовать для решения поставленных проблем методы оптимизации, в основу реализации которых положен принцип декомпозиции, используемый также для выделения операций функционирования системы УВД на этапе планирования.

Ряд этих методов основан на разложении исходной системы ограничений на подсистемы, для каждой из которых необходимо решать подзадачу меньшей размерности по сравнению с исходной. Учет взаимосвязей подсистем осуществляется путем решения коор-

динирующей задачи, которое с целью получения общего решения исходной задачи используется для согласования (координации) допустимых множеств решений подзадач путем изменения их функций цели или структуры и параметров ограничений. При необходимости подсистемы можно разлагать, в свою очередь, на более мелкие. Как правило, процесс получения общего решения исходной задачи оказывается итерационным.

Один из таких методов используется в ЦНИИ АСУ ГА для составления расписаний движения летательных аппаратов с применением ЭВМ (АСУ «Расписание»).

Использование методов оптимизации с применением ЭВМ для процессов суточного предварительного планирования воздушного движения в настоящее время сдерживается в основном необходимостью автоматизации процессов сбора, регистрации и хранения информации о полетах вне расписаний. К ним в первую очередь относятся дополнительные пассажирские и грузовые рейсы, рейсы, вышедшие из расписания (за предыдущие сутки), а также полеты других ведомств.

Планирование воздушного движения необходимо отличать от процесса суточного планирования полетов (вылетов и прилетов) в отдельных аэропортах ГА. Планирование полетов осуществляется летными подразделениями, аэродромными диспетчерскими пунктами и другими ведомственными пунктами путем подачи в соответствующие органы заявок на полеты вне расписаний как по воздушным трассам, так и внетрассовым маршрутам.

При разработке суточного плана полетов учитываются возможности летных подразделений, а также аэропортов вылета и прилета по обеспечению прежде всего регулярности выполнения каждого полета вне расписания. Однако планирование полетов отдельными аэропортами не учитывает пропускную способность воздушных трасс (особенно точек их пересечения) и диспетчерских пунктов УВД. Следствием этого является возникновение значительной неравномерности полетов в этих точках воздушных трасс в течение суток, совмещение «пиков воздушного движения» по расписанию и вне расписания, в результате чего в отдельные периоды времени превышается пропускная способность воздушного пространства и возможности диспетчеров, осуществляющих УВД на трассах.

Сложность решения задач предварительного планирования воздушного движения усугубляется, кроме того, необходимостью обеспечения полетов по внетрассовым маршрутам, что приводит к установлению ограничений на полеты летательных аппаратов по трассам. Вводимые ограничения изменяются как при переходе от одного суточного плана воздушного движения к последующему, так и в течение суток. В этих условиях особенно актуальной является проблема рационального координированного распределения воздушного пространства между потоками летательных аппаратов на трассах и внетрассовых маршрутах. Важность всестороннего рассмотрения, поиска и обоснования эффективных методов решения этой проблемы при предварительном планировании воздушного

движения становится очевидной из анализа опыта работы службы движения, который показывает, что наиболее часто ограничения на использование отдельных эшелонов воздушных трасс связаны с полетами летательных аппаратов различных ведомств по внетрассовым маршрутам, приводящим в конечном счете к дезорганизации потоков воздушного движения по трассам.

Особую специфику проблема координации приобретает при суточном предварительном планировании, качество реализации которого существенным образом зависит от рациональной организации потоков летательных аппаратов, выполняющих полеты по расписанию и вне расписания по воздушным трассам и внетрассовым маршрутам.

В общесистемном аспекте проблема координации решений базируется на построении модели принятия решений предпочтения, выражаемой часто в виде комплексного показателя эффективности, значение которого представляет полезность принятых решений. Возможность такого построения определяется прежде всего наличием формализованных локальных показателей эффективности, адекватно отражающих качество решений для подсистем нижних уровней, выделяемых в соответствии с иерархией структуры системы в целом. Применительно к проблеме предварительного планирования воздушного движения в качестве таких подсистем могут рассматриваться, например, перечисленные выше виды потоков летательных аппаратов, а также их составные части, выделяемые по принципу формирования однородных групп летательных аппаратов.

Каждый из видов потоков характеризуется своими целями и функциональными задачами, а также специфическим влиянием на эффективность функционирования как системы УВД в целом, так и отдельных ее элементов. При этом показатель эффективности, оптимизирующий решения, должен быть формализован в виде зависимости от соответствующих значений параметров планов полета, полученных в результате решений соответствующей задачи координации и заданных до согласования.

Совокупность показателей эффективности процесса планирования на разных уровнях координации решений содержит показатели как противоречивые, так и совпадающие по своим целям и учету взаимодействия составляющих потоков воздушного движения. Противоречивыми оказываются, например, показатели экономичности и регулярности, рассматриваемые на уровне органов службы движения, планирующих и обеспечивающих соответствующие потоки воздушных судов. Непротиворечивым для всех уровней системы является прежде всего показатель безопасности полетов. При этом возникают локальные задачи рационального предварительного планирования.

Максимизировать $I_i(P_i)$ $(i=\overline{1, N})$ при обеспечении заданного уровня безопасности полетов

$$I_{\text{БП}} \geqslant I_{\text{БП ЗАД}},$$

где $I_i$ — локальный показатель эффективности $i$-го планирующего

органа; $N$ — количество органов, планирующих воздушное движение; $P_i$ — множество планов полетов $i$-го планирующего органа. Понятно, что локальные показатели эффективности достигают экстремальных значений при отсутствии учета каждым органом интересов других, т. е. при сделанных выше предположениях о структуре показателей в том случае, когда множество планов полетов $P_i$ по всем значениям параметров совпадает с заявленными до решения задачи координации

$$\max_{P_i} I_i(P_i) = I_i(P_{i3}).$$

В свою очередь, множества планов $P_i$ можно разбить на подмножества $P_{ij}(j=\overline{1, \varkappa_i})$, соответствующие однородным группам летательных аппаратов по типам полетов, видам задач и их целям, различающимся в общем случае для каждого из планирующих полеты органов. Эффективность решений, принятых по каждой группе, может быть оценена соответствующими показателями $I_{ij}$. При этом важность или приоритет решения $j$-го вида задач для $i$-го планирующего органа отражается в комплексном показателе эффективности $I_i$ весовым коэффициентом $\omega_{ij}$ так, что:

$$I_i = \sum_{j=1}^{\varkappa_i} \omega_{ij} I_{ij} (i=\overline{1, N}), \quad \sum_{j=1}^{\varkappa_i} \omega_{ij} = 1, \ \omega_{ij} \geqslant 0.$$

Процесс такого выделения уровней и формирования локальных показателей, эффективности может быть продолжен путем перехода к рассмотрению более мелких локальных задач рационального планирования. При этом на последнем уровне выделяется в виде самостоятельной задачи проблема оценки снижения эффективности решений при предварительном планировании за счет изменения планов полета отдельных летательных аппаратов.

Проблема координации решений в общем случае предварительного планирования воздушного движения ставится теперь в виде задачи рационального согласования взаимодействия потоков. Такое согласование обеспечивается за счет изменения обобщенных временных характеристик потоков в рассматриваемой зоне УВД, приводящих в конечном счете к изменениям планов полета $\Delta P_{ij}$ и соответствующим приращениям показателей эффективности $\Delta I_{ij} = \varphi_{ij}(\Delta P_{ij})$, $(i=\overline{1, N}; j=\overline{1, \varkappa_i})$. При этом в соответствии с используемой моделью принятия решений предпочтение отдается перераспределению потоков или их составляющих, обеспечивающему минимум функционала, характеризующего снижение эффективности функционирования системы УВД на соответствующем уровне рассмотрения.

В общем случае модель принятия решения является многокритериальной. При этом в отличие от точных количественных представлений об оценках полезности принятых решений некоторые показатели эффективности в общей задаче предварительного планирования воздушного движения интерпретируются как качествен-

ные. Эти показатели характеризуются тем, что полезность принятых решений сохраняется высокой (близкой к оптимальной) на заранее заданном множестве допустимых вариаций планов полетов и принимается равной нулю или отрицательной величине при нарушении ограничений этого множества. Как правило, в таких случаях возникают задачи оптимизации, требующие при формализации разработки координационных правил для более высокого уровня принятия решений, устанавливающих значения количественных потерь от невыполнения совокупности задач с качественным определением целей на уровне планирующих органов.

Рассмотренная ситуация особенно характерна при суточном предварительном планировании воздушного движения в условиях решения проблемы рационального координированного распределения воздушного пространства между потоками летательных аппаратов на трассах и внетрассовых маршрутах, а также выполняющих рейсы по расписанию и вне расписания. Поэтому при реализации этого процесса наиболее остро ощущается необходимость всестороннего рассмотрения, поиска и обоснования эффективных методов и алгоритмов решения проблемы координации потоков воздушного движения.

Один из возможных методов планирования воздушного движения может быть реализован на основе прогнозирования интенсивности воздушного движения по участкам трасс. Прогнозирование интенсивности воздушного движения осуществляется при этом путем анализа составляющих планов полетов: маршрутов, экономически выгодных эшелонов и моментов времени пролета контрольных и характерных точек, определяемых на основании действующих расписаний движения летательных аппаратов. Такой анализ проводится один раз на период действия расписаний. В результате определяются суммарные значения обобщенных функций, характеризующих нагрузку в зоне УВД от повторяющихся полетов. Эти данные используются при суточном предварительном планировании потоков летательных аппаратов вне расписания, например, для оперативного анализа возможности перегрузки органов службы движения или отдельных частей воздушного пространства зоны УВД и принятия необходимых мер по реализации основной функции предварительного планирования.

Прогнозирование постоянной составляющей интенсивности воздушного движения в зоне УВД является также основой для анализа и учета дезорганизующих факторов и разработки методов рационального принятия решений по планированию полетов по внетрассовым маршрутам. В сочетании с определением границ воздушных зон с наиболее сложными условиями для УВД такой подход позволяет обеспечить не только высокий уровень регулярности и экономичности воздушного движения по трассам, но и создает условия для повышения уровня безопасности полетов при смешанном характере потоков. На достижение такого положительного эффекта в процессе предварительного планирования направлена методика определения рациональных высот, мест и времени пере-

сечения внетрассовыми маршрутами воздушных трасс и МВЛ первой категории, используемая в практической деятельности Ленинградского ЗЦ ЕС УВД.

Методика основана на прогнозировании почасовой интенсивности воздушного движения по участкам трасс и МВЛ первой категории.

Рассмотренные подходы к предварительному планированию воздушного движения позволяют обеспечить приемлемые решения по координации потоков летательных аппаратов, осуществляющих полеты в соответствующей зоне УВД, без применения в процессе суточного планирования средств вычислительной техники. Однако следует учитывать нецелесообразность принятия окончательных решений по планированию по результатам анализа интенсивности воздушного движения, проведенного в отдельных аэропортах или зонах УВД сравнительно малых размеров. Необходимо учитывать также изменяющуюся планируемую нагрузку на другие участки и точки воздушных трасс в пределах распространения изменяемых планов полетов. Поэтому такой метод планирования воздушного движения целесообразно использовать на вышестоящих уровнях планирующих органов (ЗЦ, диспетчерской службы управления (ДСУ) или РЦ), как правило, при координации суточных планов полетов, составленных в отдельных аэропортах соответствующей зоны УВД.

Суточные планы полетов являются информационной основой в системе планирования воздушного движения и одновременно оперативного управления службами аэропорта, участвующими в подготовке воздушных судов к отправлению. Составление суточных планов является трудоемким процессом и предусматривает решение следующих основных вопросов: четкое определение задач, решаемых в процессе планирования полетов; определение источников поступления информации, способов ее передачи и периодичности представления ее для обработки; организацию сбора, систематизацию хранения и поиска необходимых данных; разработку системы кодирования; разработку технологии формирования документов; построение рациональной схемы документооборота; определение способов контроля информации.

Принятая в ГА технология составления суточного плана полетов предусматривает его составление накануне дня полетов группой планирования АДП и включает сбор информации о техническом состоянии самолетов, аэродромов, радиотехнических средств, метеорологической и воздушной обстановках по маршруту полета и других факторах. План вылетов самолетов из аэропорта определяется на основании: расписания движений; нарядов летных подразделений, базирующихся в аэропорту; заявок командиров кораблей транзитных самолетов, вышедших из расписания; планов на вылеты самолетов, вышедших из расписания; планов на вылеты самолетов от других аэропортов и аэродромов ведомственной авиации; сведений о наличии в аэропортах ГСМ и загрузки для самолетов, вылетающих вне расписания.

Суточный план полета представляет собой план-сводку, в котором отображаются: литерные рейсы, номер рейса, маршрут полета, какому подразделению предусмотрено выполнять рейс, фактическая принадлежность самолета, его тип, бортовой номер и оборудование; фамилия и минимум командира летательного аппарата, масса топлива (ГСМ) и необходимые данные для расчета коммерческой загрузки; время вылета по расписанию.

Суточный план полета утверждается командиром ОАО. План полетов является оперативным документом, на основании которого планируется работа всех служб аэропорта, участвующих в подготовке и обеспечении выполнения рейсов. Обеспечение выполнения плана состоит: в доведении его до служб и диспетчерских пунктов; в передаче его в АДП аэропортов и РЦ, через зоны которых планируется полет самолета, в органы, координирующие и контролирующие полеты, а также вышестоящие органы службы движения.

Общая организация оперативного руководства службами аэропорта и их взаимодействия при выполнении плана и подготовке самолетов к вылету возлагается на производственные диспетчерские службы авиапредприятий (ПДСП).

Сводный план суточных полетов управления гражданской авиации составляется производственной диспетчерской службой (ПДС) управления на основании планов полетов аэропортов. ПДС УГА осуществляет контроль по всему маршруту полета за самолетами своего управления, международными, литерными, матричными и подконтрольными рейсами, постоянно контролирует и утверждает планы полетов, составленные аэропортами своего управления, осуществляет обеспечение и проверку в аэропортах наличия и готовности экипажей к выполнению рейсов, количества и порядка использования в аэропортах резервных самолетов и экипажей; производит контроль за подготовкой и выполнением литерных рейсов.

Центральная диспетчерская служба (ЦДС) МГА осуществляет планирование, контроль и координацию движения самолетов гражданской авиации, других ведомств и иностранных компаний на воздушных трассах СССР. Она составляет суточный план полетов на международные, литерные, матричные и подконтрольные рейсы, а также на рейсы вне расписания за пределами смежных управлений. При необходимости ЦДС через ПДС принимает меры по предотвращению случаев нарушений регулярности движения самолетов, координирует действия ПДС по вопросам обеспечения выполнения плана и регулярности полетов, проводит расследование случаев нарушений порядка планирования и обеспечения полетов.

Рассмотренный процесс составления суточного плана, обеспечения его выполнения и контроля свидетельствует о сложном характере информационного обмена между органами, планирующими воздушное движение, цикличности и иерархичности функциональной структуры системы планирования. В современных условиях возрастания интенсивности воздушного движения резко увели-

чиваются объемы перерабатываемой информации, особенно при необходимости перепланирования воздушного движения. Это требует постоянного совершенствования системы и методов организации сбора, регистрации, хранения и обработки информации на всех уровнях системы планирования, разработки и внедрения систем и методов рационального планирования воздушного движения, базирующихся на использовании математических методов исследования операций, применении средств автоматизированной обработки информации о воздушном движении.

**Контрольные вопросы**

1. Какие факторы определяют сложность решения задач оптимального планирования?
2. Опишите использование принципа декомпозиции при решении задач рационального предварительного планирования.
3. Назовите отличия планирования воздушного движения от планирования полетов в аэропортах.
4. Раскройте содержание проблемы координации решений при предварительном планировании.
5. Раскройте содержание методов планирования, основанных на прогнозе интенсивности воздушного движения.
6. Раскройте содержание методики определения рациональных высот, мест и времени пересечения внетрассовыми маршрутами воздушных трасс.
7. Какие основные вопросы решаются при составлении суточных планов?
8. Приведите основные положения технологии составления суточного плана в неавтоматизированной системе.

## 9.3. Автоматизация процесса рационального предварительного планирования

Рассмотренные выше особенности процесса предварительного планирования воздушного движения с учетом основных принципов автоматизации процессов УВД позволяют наметить основные пути перехода от ручного способа планирования к использованию для этих целей ЭВМ, определить основные задачи автоматизации и последовательность их реализации. Анализ существующего способа планирования воздушного движения показывает, что разработка рациональных решений ограничивается прежде всего недостатками организации сбора и учета данных о текущем состоянии системы УВД. Поэтому автоматизация основных функций центров планирования, связанных с обработкой информации о предполагаемом воздушном движении, оказывается нереальной задачей без надлежащей организации в памяти ЭВМ базы данных об организации воздушного пространства и о состоянии системы УВД, содержание которой корректируется в реальном масштабе времени. Решение этой задачи представляет довольно сложную техническую и вычислительную проблему.

Технический аспект проблемы предполагает организацию системы средств регистрации и сбора информации о текущем состоянии системы УВД и системы передачи данных информации от объектов ее возникновения к центру обработки и использования дан-

ных. Структура этих систем в основном определяется организацией воздушного пространства, системы диспетчерских пунктов и технических средств для УВД, а также предполагаемыми объемами информации, допустимым временем на передачу, типом линий связи и другими факторами.

С вычислительной точки зрения проблема характеризуется необходимостью разработки математического и программного обеспечения для начальной организации и ведения банка данных с целью обеспечения соответствия между текущим состоянием системы УВД и его информационной моделью, используемой при решении функциональных задач планирования воздушного движения. Эта проблема является составляющей общей проблемы информационного обеспечения АС УВД. Ее решение наряду с организационно-техническими задачами предусматривает: разработку единой системы документирования и кодирования информации; определение способов ввода информации в ЭВМ; разделение информации на условно-постоянную и переменную; определение способов хранения и поиска информации в ЭВМ, а также ее корректировки. Каждая из этих задач имеет специфические особенности реализации. Однако все они в значительной степени могут быть учтены при использовании общих принципов построения автоматизированных информационно-поисковых систем. Методы создания и практической эксплуатации этих систем в настоящее время достаточно хорошо разработаны и могут быть без принципиальных затруднений перенесены на рассматриваемую проблему.

Другая важная составляющая информационного обеспечения процессов планирования воздушного движения связывается с организацией банка данных о прогнозах метеообстановки в соответствующих зонах УВД на период планирования. Характер организации банка метеорологических данных определяется видом операций предварительного планирования. При долгосрочном планировании, т. е. при составлении расписаний воздушного движения эти данные должны отражать некоторые средние или вероятностные характеристики метеоусловий, например направление и среднюю скорость преобладающих ветров, вероятность возникновения опасных явлений в различные периоды времени года и т. п.

При суточном предварительном планировании необходимо организовать и использовать банк данных прогнозов метеообстановки на предстоящие сутки, а при оперативном планировании (перепланировании) целесообразно использовать данные краткосрочных прогнозов, а также текущие данные метеообстановки в реальном масштабе времени. Отмеченные два вида информационного обеспечения создают основу для автоматизации оценки пропускной способности зон УВД в заданном периоде планирования. В настоящее время алгоритмизация процессов расчета пропускной способности зон УВД представляет собой пока еще такую часть теории систем УВД, в которой преобладают экспериментальные исследования и эвристические принципы принятия решений. Поэтому искомые оценки пропускной способности носят приближенный ха-

рактер. Несмотря на это, автоматизация этих процессов позволяет обеспечить в оперативном режиме получение систематизированных и обобщенных сообщений о текущем состоянии системы УВД и метеообстановке, а также о возможностях системы УВД в части обеспечения полетов, что повышает эффективность деятельности центров планирования воздушного движения.

Автоматизация основных функций центров планирования воздушного движения связывается прежде всего с организацией ввода, хранения и обработки данных о планах полетов. При этом плановая информация разделяется на условно-постоянную и переменную. Условно-постоянную информацию образуют данные о планах полетов по расписаниям воздушного движения. Переменную информацию образуют данные о планах полетов по заявкам на полеты по трассовым и внетрассовым маршрутам. Организация соответствующих банков данных связана с решением ряда проблем, аналогичных рассмотренным выше. Совместное использование банков данных о планах полетов и состоянии системы УВД позволяет автоматизировать выдачу сообщений о загрузке маршрутов, особых зон и точек воздушного пространства, а также о возможных перегрузках отдельных зон УВД в определенные интервалы времени.

Основным вопросом автоматизации процессов предварительного планирования воздушного движения является выработка решений при прогнозируемой перегрузке системы УВД. Автоматизация этой функции составляет основное содержание проблемы автоматизации управления потоками воздушного движения. Ее решение связано с разработкой модели воздушного движения и алгоритма перераспределения потоков путем назначения новых маршрутов по сравнению с заявленными и (или) изменения времени вылета (задержки). При этом новые решения должны удовлетворять принципам рационального предварительного планирования.

Моделирование процесса планирования воздушного движения в общем случае может основываться на использовании результатов общей теории сетей [147—149]. Однако большинство практических приложений этой теории связано с решением задач, не учитывающих в явном виде фактор времени. Между тем если рассматривать движение отдельного летательного аппарата по сети воздушных трасс в виде некоторого потока продукта, то можно выделить следующие особенности. Передача потока по каждой ветви требует определенного времени, учет которого необходим в модели ограничений по пропускной способности участков трасс. Учитывая ограниченную скорость передачи потока, можно говорить о затратах некоторого фиксированного для каждого потока времени прохождения узлов транспортной сети, т. е. в модели пропускной способности «особых» точек необходимо учитывать временные задержки в передаче потока. Другая особенность, не позволяющая непосредственно использовать многие результаты общей теории сетей, состоит в том, что каждый поток связывается с определенным пунктом назначения.

Отмеченные особенности создают значительные трудности при попытке формализации и получения оптимальных решений задач планирования воздушного движения. При этом наибольшие сложности возникают при формализации решений, удовлетворяющих принципу «равнопрочности». Поэтому на начальных этапах автоматизации процессов предварительного планирования воздушного движения целесообразно ограничиваться разработкой моделей и алгоритмов, обеспечивающих квазиоптимальные (рациональные) решения. Такие решения могут быть получены, например, с помощью процедур локальной оптимизации, применяемых к последовательным интервалам времени планирования.

Рассмотрим формализацию основных положений такого подхода на примере алгоритмизации процесса рационального суточного планирования на транспортной сети, определенной множествами $(M, S)$. Элементы $m_i$ $(i=\overline{1, n})$ множества $M$ называют пунктами (узлами) транспортной сети. В нашем случае им соответствуют аэродромы вылета и посадки, РНТ входных и выходных коридоров, точки схождения, пересечения и излома трасс и т. п. Элементы множества $S$ представляют собой упорядоченные пары элементов множества $M$: $s_{ij}=(m_i, m_j)$ и называются коммуникациями сети. При этом считается, что коммуникация $s_{ij}$, связывающая пункты $m_i$ и $m_j$, начинается в $m_i$ и заканчивается в $m_j$. В нашем случае коммуникациям соответствуют участки воздушных трасс между выделенными точками воздушного пространства, образующими множество $M$.

Каждой коммуникации $s_{ij}$ ставятся в соответствие некоторые числа $c_{ij}$, образующие $n\times n$ — матрицу затрат. При этом $c_{ii}=0$, $c_{ij}>0$, если коммуникация $s_{ij}$ определена, и $c_{ij}=\infty$ (или $c\gg 1$), если коммуникация $s_{ij}$ отсутствует. Физический смысл затрат определяется характером поставленной цели предварительного планирования. Так, при различных частных критериях оптимальности (рациональности) решений затраты $c_{ij}$ можно интерпретировать в виде: расстояния между узлами $i$ и $j$ (для сокращения далее будем использовать такую запись вместо принятой выше: $m_i$ и $m_j$), т. е. длины коммуникации (отрезка воздушной трассы) $l_{ij}$; времени полета $t_{ij}$; нагрузки на систему УВД из расчета на один рейс $\eta_{ij}$ и т. п.

В общем случае затраты являются сложной функцией организационно-технических факторов и параметров, определяющих не только уровень технического оснащения, автоматизации и состояния технических средств в рассматриваемой зоне, но и отражающих индивидуальные различия в уровне профессионального мастерства диспетчеров УВД. С учетом этого можно считать, что комплексные затраты $c_{ij}$, характеризующие использование коммуникации $s_{ij}$, определяются в виде:

$$c_{ij}=\sum_{\nu=1}^{r} c_{ij}^{(\nu)}\beta_\nu;\quad \sum_{\nu=1}^{r}\beta_\nu=1,$$

где $c_{ij}^{(\nu)}$ — затраты по $\nu$-му показателю; $\beta_\nu$ — размерный коэффициент, учитывающий важность учета затрат по $\nu$-му показателю при планировании.

Кроме того, для каждой коммуникации и каждого узла определены пропускные способности $\mu_{ij}$ и $\mu_k$, которые могут быть заданы непосредственно в виде параметров, определяющих количество летательных аппаратов в единицу времени, полеты которых могут быть обеспечены службой движения с учетом требований безопасности и регулярности полетов, а также косвенно путем задания таких параметров, как: минимальный интервал поступления летательного аппарата на управление на отрезок трассы или в окрестность некоторой точки воздушного пространства, максимально допустимая плотность в определенной части воздушного пространства и т. п. В любом случае значения пропускных способностей $\mu_{ij}$, $\mu_k$ являются функциями времени.

Разобьем период планирования $T=0{,}24$ ч на интервалы времени $\Delta t_\varrho = (\tau_{н\varrho}\ ,\ \tau_{к\varrho}\ )$, $\varrho=\overline{1,\ r}$ и определим множества планов полетов $P_\varrho$, время начала действия которых (время вылета или входа в рассматриваемую зону УВД) $t_{н\varrho l} \in \Delta t_\varrho$ $(l=\overline{1,\ n_\varrho})$.

Все множество заявленных планов полетов, включая полеты по расписанию, разобъем в соответствии с принятой в ГА системой приоритетов обеспечения полетов на классы так, что получим подмножества $P_\varrho^{(\pi)}$ $(\pi=\overline{1,\ k_п})$, где $k_п$ — число приоритетов.

Теперь процедура рационального предварительного планирования может быть реализована по следующей схеме. Для каждого класса $\pi$ и каждого интервала $\Delta t_\varrho$ последовательно определяются оптимальные маршруты. При этом оптимальным считается заявленный маршрут или в случае невозможности его обеспечения маршрут с минимальными обобщенными затратами. Отыскание маршрута, оптимального в смысле минимума затрат, является классической задачей об определении кратчайшего пути на сети. При этом затраты $c_{ij}$ интерпретируются как длины отрезков сети между точками $i$ и $j$ ($c_{ij}$ не обязательно равны $c_{ji}$).

Выделим из множества узлов транспортной сети $M$ подмножества, соответствующие аэродромам вылета $M_в$ и посадки $M_п$, являющихся соответственно начальными и конечными точками маршрутов планируемых полетов.

Можно показать, что каждая задача отыскания кратчайшего пути по сети между любыми двумя узлами является задачей линейного программирования [148, 150]. Однако в силу специфичности условий задачи для ее решения разработаны более эффективные методы по сравнению с симплекс-методом. Так, алгоритм Форда [150] мжно использовать для отыскания кратчайшего расстояния и кратчайшего пути от любого узла сразу до всех остальных узлов. Тем самым имеется возможность определить оптимальные маршруты сразу для всех рейсов, начинающихся из узла (аэродрома) $s \in M_в$ и заканчивающихся в любом из узлов (аэродромов) $k \in M_п$.

Для описания алгоритма введем матрицу расстояний $R$ по маршрутам. При этом значение элемента $r_{sk}$ определяет расстояние (затраты) в принятых единицах измерения от узла $s (s \in M_в)$ до узла $k$ ($k$ не обязательно принадлежит $M_п$). Пусть для определенности $M_в = \{1, \ldots, s, \ldots, n_в\}$. Тогда матрица $R$ имеет размерность $n_в \times n$.

Алгоритм определения кратчайших расстояний выполняется в следующем порядке.

1. Для выбранного номера узла $s$ вычисляются $r_{sk} = c_{sk}$. При этом если для некоторых $k$ $c_{sk}$ не определено, то считается $c_{sk} = \infty$.

2. Определяются значения элементов $r_{sk}$, не заданных на первом шаге $r_{sk} = \min\limits_i \{r_{si} + c_{ik}\}$. Формально эту процедуру можно применить для всех номеров $k$ или перейти к п. 3.

3. Для всех $i = \overline{1, n}$ последовательно, начиная для определенности с $i = 1$, вычисляются разности $\Delta_{ik} = r_{sk} - r_{si} (k = \overline{1, n})$. Если для некоторых значений $(i, k)$ $\Delta_{ik} > c_{ik}$, то значение $r_{sk}$ исправляется, т. е. заменяется значением $r'_{sk} = r_{si} + c_{ik}$.

4. Вычисления по п. 3 повторяются до тех пор, пока не будет выполнено условие оптимальности $\Delta_{ik} \leqslant c_{ik} (i, k = \overline{1, n})$. Полученные в результате вычислений значения $r_{sq}$ ($s \in M_в$, $q \in M_п$) определяют кратчайшие расстояния (минимальные затраты) по оптимальным маршрутам и совместно с исходной матрицей затрат $c$ являются достаточными данными для построения кратчайших маршрутов $m_{sq}$ в виде последовательности номеров узлов $\{i_0 = s, i, \ldots, i_p = q\}$.

Составление $m_{sq}$ производится в инверсном порядке, т. е. сначала определяется последний отрезок $(i_{p-1}, i_p)$ и соответствующий ему начальный узел $i_{p-1}$, затем предыдущий $(i_{p-2}, i_{p-1})$ и т. д. Номер начального узла $t_н$ соответствующего отрезка $(t_н, t_к)$ маршрута определяется путем анализа разностей $\delta_{it_k} = \lambda_{t_k} - \lambda_i$. При этом ищется такой номер $i$, для которого $\delta_{it_k} = c_{it_k}$.

В соответствии с указанным порядком составления $m_{sq}$ на первом шаге анализа разностей принимается $t_k^{(1)} = i_p = q$, на втором $t_k^{(2)} = t_н^{(1)}$ и т. д. до тех пор, пока на последнем $p$-м шаге не окажется $t_н^{(p)} = i_0 = s$.

После построения оптимального маршрута производится проверка выполнения ограничений на пропускные способности участков трасс и особых точек, соответствующих определенному маршруту. Такой контроль осуществляется на основании построения функций загрузки маршрута во времени и сравнения их значений с пропускными способностями.

Пусть для построенного маршрута определены функции загрузки $\eta_i(t)$, $i = \overline{1, r_m}$ и составляющая загрузки $\Delta\eta_i(t)$, обусловленная построенным маршрутом. Тогда, если для любого момента времени $t \in (t_{нm}, t_{кm})$ выполнено условие $\eta_i(t) + \Delta\eta(t) \leqslant \mu_i(t)$, то построенный маршрут удовлетворяет требованиям пропускной способно-

сти. В противном случае возникает задача согласования загрузки с пропускной способностью системы УВД, решение которой может быть обеспечено, например, путем анализа возможного обеспечения построенного оптимального маршрута с задержкой времени. В этом случае, ставится задача определения нового значения времени $t'_{нm}$ — планируемого времени входа соответствующего летательного аппарата на управление такого, что $\Delta t = t'_{нm} - t_{нm} \to \min$ при ограничениях:

$$\eta_l(t+\Delta t)+\Delta\eta_i(t) \leqslant \mu_i(t+\Delta t),$$
$$\Delta t \geqslant 0,\ t \in (t'_{н\,m},\ t'_{к\,m}),\ i=\overline{1,\ r_m}.$$

Может оказаться нецелесообразным использовать полученный в результате решения этой задачи план полета, например, из-за значительной планируемой задержки полета ($\Delta t > \Delta t_{доп}$). В этом случае ставится задача о назначении нового маршрута, решение которой осуществляется с помощью вышеизложенного алгоритма. При этом из модели сети, используемой на предыдущем шаге, удаляются коммуникации и узлы с нарушенными ограничениями по пропускной способности.

Процесс построения оптимальных маршрутов и планирование задержек повторяется аналогичным образом для всех рейсов в последовательности, определяемой приоритетами и временем начала действия плана полета. При этом на каждом шаге планирования модель исходной сети восстанавливается.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды информационного обеспечения при автоматизации процессов планирования.
2. Перечислите основные задачи организации банков данных.
3. В чем состоят особенности построения модели воздушного движения при планировании?
4. Раскройте содержание основных элементов моделирования транспортной сети.
5. Опишите алгоритмы поиска кратчайшего пути на транспортной сети.
6. Приведите общую схему алгоритмизации процесса рационального предварительного планирования.
7. В чем состоят особенности реализации на ЭВМ процесса рационального предварительного планирования?

Раздел III

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УВД

## Глава 10

## ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДИСПЕТЧЕРА

### 10.1. Диспетчер как звено простейшего контура системы УВД

Стремительное развитие техники, в том числе радиотехнических средств УВД и посадки, позволившие уже в 50-е годы реализовать, например, автоматические посадки самолетов, породило надежду на возможность полного исключения человека из контура управления. Так, появились проекты автоматических систем УВД. Однако громадное число сочетаний различных вариантов динамической воздушной обстановки, существующая всегда реальная возможность возникновения особых случаев в полете, наличие условий неопределенности в сочетании с жесткими ограничениями по безопасности полетов привели к тому, что уже к концу 60-х годов и началу 70-х годов никто из специалистов по УВД всерьез не говорил об автоматической системе.

Обосновалось мнение не только о необходимости и неизбежности наличия человека-оператора в простейшем контуре системы УВД, но и о его центральной роли как элемента такого контура. Подход к исследованию процессов УВД состоит в том, что они на любом из этапов функционирования системы изучаются с точки зрения их влияния на деятельность диспетчера, осуществляющего непосредственное УВД. Автоматизация процессов УВД при таком подходе также должна быть направлена на повышение эффективности деятельности диспетчера, т. е. на повышение таких показателей его деятельности, как пропускная способность звена принимающего, перерабатывающего и передающего информацию, надежность и т. д.

Таким образом, с включением в простейший контур системы УВД человека (диспетчера) он приобретает специфические черты, которые позволяют рассматривать его не как контур, выполняющий поточные операции, а как контур с элементом деятельности. Деятельность — это реализация личностных свойств человека с учетом всех условий, образующихся внешним миром. Эти свойст-

ва имеют определенную структуру, характеризующую личность человека. Вместе с тем процесс деятельности обусловливается не только внутренними, но и внешними факторами, к которым относится управляемый объект и сам процесс УВД.

С позиций эргономики трудовая деятельность диспетчера может быть рассмотрена как процесс переработки информации. Следовательно, эргономические исследования и рекомендации по совершенствованию системы должны основываться на выявлении закономерностей психических и физиологических процессов, лежащих в основе определенных видов трудовой деятельности диспетчера. В данном случае из всех его эргономических свойств особый интерес представляют зрительные, слуховые, осязательные и другие ощущения, двигательные функции (скорость, точность, координация движений и т. д.) и психические процессы. Из последних важнейшее значение имеют внимание, память, мышление. Существенное место среди эргономических свойств человека занимают свойства нервной системы (уравновешенность, подвижность нервных процессов), которые определяют общую способность диспетчера к его профессиональной деятельности. Все это необходимо учитывать в процессе проектирования деятельности диспетчера и его обучении. Особенно важным здесь является учет индивидуальных особенностей личности, так как каждый диспетчер, несмотря на единство существующих норм и принятых процедур, вносит в процесс УВД лично свое, присущее только данному конкретному человеку.

Наличие человека в системе и принятых при этом процедур управления воздушным движением позволяют характеризовать простейший контур системы УВД как одноканальную систему массового обслуживания с ограниченным ожиданием, т. е. каждый летательный аппарат в период его полета должен быть обслужен в простейшем контуре диспетчером по установленным правилам. Это обслуживание требует определенных затрат рабочего времени $t_o$ диспетчера. Таким образом, пропускная способность простейшего контура будет определяться главным образом количеством летательных аппаратов, которые могут одновременно находиться на управлении у диспетчера в конкретной зоне полета с учетом возможной задержки в их обслуживании. Задержка в данном случае является той предельной оценкой времени, превышение которой ведет к невыполнению поставленной цели управления, т. е. к отказу в работе систем. Из оценки пропускной способности отдельных элементов простейшего контура следует, что наименьшее значение его характерно для диспетчера. Поэтому пропускная способность диспетчера является определяющей для всего контура и взаимосвязана с максимальной его загруженностью $Q$. Показатель загруженности от 0 до $Q_{max}$ характеризуется рабочей нагрузкой диспетчера $R$.

Выражение пропускной способности диспетчера и его рабочей нагрузки через число управляемых им летательных аппаратов часто обусловливается практической целесообразностью. К тому же

оценка качества деятельности диспетчера должна тесно увязываться с качеством и эффективностью функционирования всей системы УВД в целом.

Величина показателя рабочей нагрузки на диспетчера $R$ обусловливается факторами, такими, как: время полета летательных аппаратов в зоне управления, время обслуживания одиночного летательного аппарата в соответствии с принятыми процедурами и состоянием ДВО, технических устройств УВД и др. Ввиду воздействия на процесс управления воздушным движением различного рода случайных факторов модель рабочей нагрузки должна отражать вероятностные признаки.

Таким образом, в рамках корреляционной теории, такая характеристика рабочей нагрузки, как математическое ожидание, определяется зависимостью вида:

$$R = f(m,\ n,\ T_m,\ T_n,\ t_0^m,\ t_0^n,\ P),$$

где $m$ — количество вылетающих летательных аппаратов; $n$ — количество прилетающих летательных аппаратов; $T_m$ — время нахождения в зоне управления вылетающего летательного аппарата; $T_n$ — время нахождения в зоне прилетающего летательного аппарата; $t_0^m$ — общее время обслуживания диспетчером вылетающих летательных аппаратов; $t_0^n$ — общее время обслуживания диспетчером прилетающих летательных аппаратов; $P$ — принимаемая вероятность задержки в обслуживании.

Летательный аппарат, следующий пролетом (транзитом) через данную зону УВД, для удобства расчета может по своим показателям быть приравнен к вылетающему или прилетающему летательному аппарату. Учитывая принятые ранее допущения, справедливые для средних оценок величин, можно записать:

$$t_0^m m + t_0^n n = \frac{m}{m+n} T_m + \frac{n}{m+n} T_n.$$

Упрощая данное уравнение посредством перехода к одной переменной, можно получить

$$\gamma^2 t_0^m + \left( t_0^m - t_0^n - \frac{1}{n} T_m \right) \gamma + t_0^n - \frac{1}{n} T_n = 0.$$

Решив это уравнение относительно $\gamma$, т. е. как функцию двух переменных $m$ и $n$ в неявном виде, получим зависимость количества вылетающих и прилетающих летательных аппаратов для зоны управления с учетом правил, регламентирующих деятельность диспетчера. Имея необходимые статистические характеристики данных оценок в виде $M(t)$ и $\sigma(t)$, для каждой из них можно построить график возможной рабочей нагрузки диспетчера в виде оценки его пропускной способности, выражающейся суммой вылетающих и прилетающих летательных аппаратов в данный момент времени с учетом принятой вероятности задержки в обслуживании (рис. 10.1).

Отсюда следует, что качество и эффективность процессов функционирования простейшего контура системы УВД неразрывно связаны с показателями качества и эффективности функционирования диспетчера с его надежностью и пропускной способностью. Более глубокое исследование сущности этих показателей, а также разработка необходимых мер по их повышению не может не охватывать анализа психологических и структурных элементов деятельности диспетчера в процессе непосредственного УВД.

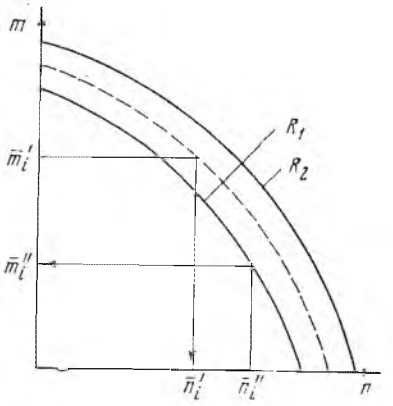



Рис. 10.1. График определения рабочей нагрузки диспетчера при непосредственном УВД ($R=m_i+n_i$)

Возможности диспетчера как главного звена в процессе УВД расширяются за счет развития технических средств УВД. Однако создание и внедрение новых средств не устраняет диспетчера из процесса управления, а лишь видоизменяет его роль и место при УВД. На этой основе возникают новые формы взаимосвязи между человеком и техникой, новые условия его трудовой деятельности.

Трудовая деятельность диспетчера в процессе УВД за последние годы изменилась. От выкладывания сигнальных полотнищ на летном поле и фиксации в журнале плана полетов времени вылета и прилета летательного аппарата диспетчер перешел к ведению графического контроля и поддержанию связи с экипажами в воздухе через радиооператоров. Дальнейшее развитие техники позволило упростить определение азимута и расстояния до летательного аппарата сначала с помощью коротковолнового радиопеленгатора, а затем через ультракоротковолновый автоматический радиопеленгатор (АРП) и самолетный радиоответчик (СРО). Бурное развитие радиолокационной техники и средств связи дало в дальнейшем диспетчеру возможность самому наблюдать на индикаторах РЛС воздушную и метеорологическую обстановку в зоне управления и вести непосредственный радиообмен с экипажами летательных аппаратов. Вторичная радиолокация значительно расширила объем представляемой диспетчеру информации об элементах движения летательных аппаратов и их состояний и позволила прямо использовать ее для принятия тактических решений в процессе УВД.

Перечисленные изменения в развитии технических средств, а также увеличившаяся интенсивность воздушного движения подняли роль диспетчера в процессе производства и обеспечения полетов. С другой стороны, все это существенно изменило взаимосвязь между диспетчером, экипажами, летательными аппаратами и средой, чем значительно расширило диспетчерские функции в процес-

се УВД. При этом возникли и новые проблемы, например, о требованиях к техническим средствам, рациональном распределении функций между диспетчером и техническими средствами УВД и др.

Сложность проблемы распределения функций обусловлена тем, что человек не может быть приравнен ни к какому техническому элементу системы. Даже при минимальной доле участия в управлении человек остается субъектом труда, имеющим собственные мотивы действий, осознающим цели и задачи деятельности.

В связи с этим характеристики человека не сводятся к характеристикам технических устройств и не могут быть полностью описаны методами, применимыми к технике. Отсюда следует, что распределение функций — это не только лишь техническая задача. Ее решение связано с проектированием как технических систем, так и деятельности диспетчера, основанной как на учете характеристик восприятия, внимания, памяти, мышления, моторных актов в конкретных условиях, так и на поиске компромиссных решений для взаимного согласования возможностей человека и параметров технических средств простейшего контура системы УВД.

Серьезные трудности в создании научно обоснованного подхода к распределению функций возникает в связи со сложностью разработки количественных методов и критериев для сравнения возможностей человека и техники при выполнении конкретных функций.

Часто условия, определяющие оптимальность распределения функций между человеком и техникой, выбираются на основании предназначения системы (ее целей и задач) и требований, предъявляемых к ней (предписанных функций), на всех уровнях процесса функционирования сложной системы.

Цель или назначение системы достигается путем выполнения операций, под которыми понимаются любые мероприятия (действие, система действий), объединенные единым замыслом и направленные на достижение определенной цели. Как правило, для выполнения операций используются необходимое оборудование и методы его применения, а также разрабатываются программы исполнения.

Действия человека-оператора по управлению (достижению цели) определяются конкретными задачами и осуществляются посредством их решения. Задача — это комбинация операций, которые связаны друг с другом временем, целью и выходом. При данной цели для данной системы задача определится (будет сформулирована) на основе сложившейся ситуации и принятых для данного процесса ограничений.

В общем случае непосредственное управление воздушным движением — это целенаправленное воздействие на процесс полета, имеющее своим предназначением обеспечение безопасного и упорядоченного передвижения летательных аппаратов на всех этапах полета. Основным ограничивающим условием функционирования системы УВД здесь является обеспечение безопасности полетов

при стремлении обеспечения наибольшей пропускной способности всех ее элементов.

Процесс непосредственного управления воздушным движением может быть характеризован как осуществление воздействий, выбираемых из множества возможных на основе обработки поступающей информации и направленных на поддержание или улучшение производства полетов в соответствии с целью и программой управления, под которыми понимается обеспечение безопасного и упорядоченного движения летательных аппаратов в пределах зоны управления.

Поставленная цель может быть достигнута посредством решения частных задач управления, сходных по назначению с задачами верхнего уровня управления, но которые по своему содержанию присущи лишь простейшему контуру системы УВД. Этими задачами и основными функциями, осуществляемыми диспетчером, будут:

1. Планирование:

предварительное — осуществляемое в период подготовки диспетчера к приему летательного аппарата в свою зону ответственности и заключающееся в согласовании будущих параметров полета;

оперативное — осуществляемое диспетчером в период приема летательного аппарата и выражаемое в виде экстраполяции полета на ближайший отрезок времени.

2. Штатные действия по разработанной программе полета в соответствии с принятыми процедурами обслуживания. Основной формой здесь является функция контроля как непрерывная функция поведения.

3. Непосредственное управление, т. е. устранение отклонений от принятой программы полета летательного аппарата. Устранение отклонений осуществляется посредством подачи команд экипажу на соответствующий маневр летательного аппарата путем изменения параметров его полета: путевой скорости, скорости снижения или набора высоты полета, направления полета.

4. Ликвидация аварийной обстановки. Эта задача может быть подразделена и классифицирована на подзадачи, связанные с: отказом в работе силовых систем ЛА; отказом в работе бортовых систем навигации и связи; отказом в работе наземных средств связи и УВД; производством полетов при выходе из строя членов экипажа; ликвидацией последствий аварийной ситуации.

5. Нештатные ситуации, связанные с особыми условиями полетов (грозовая деятельность, обледенение, сильная болтанка и т. д.).

6. Вспомогательные задачи, осуществляемые в период подготовки и приема дежурства, а также его сдачи или кратковременной подмены.

В процессе функционирования простейшего контура системы УВД эти основные задачи детализируются в зависимости от конкретных условий сложившейся обстановки, представляя таким образом довольно обширную сферу деятельности диспетчера.

Как бы ни сложна и многогранна была деятельность диспетчера в процессе УВД, но она содержит в себе конечное число определенных операций, которые в зависимости от решаемых задач объединяются на основе единого замысла в структуру или план деятельности, который всегда направлен на получение некоторого искомого результата. Дробление деятельности диспетчера производится сверху вниз, т. е. от программных единиц деятельности через их декомпозицию на технологические единицы (такое название введено из-за привычного в системе УВД понятия — технология работы). Под технологической единицей будем понимать часть структуры или программы деятельности диспетчера, имеющую самостоятельное функционально-технологическое назначение. Например, прием информации от экипажа ЛА при входе в зону управления, определение места ЛА, оценка сложившейся ситуации и т. п.

Основной целью диспетчера в данном случае будет безошибочное и своевременное выполнение предписанной структуры деятельности в соответствии с программой функционирования.

По своему целевому назначению в структуре деятельности можно выделить основные и вспомогательные разновидности технологических единиц.

Основные единицы — это блоки элементарных операций, при невыполнении или ошибочном выполнении хотя бы одного из которых цель не будет достигнута.

К основным технологическим единицам деятельности относятся: рабочие (сенсорные и моторные) блоки — блоки операций, в результате выполнения которых обеспечивается достижение цели (рис. 10.2); рабочий логический блок (блок решения) — многоальтернативный блок операций, отражающий процесс логического определения нужного исхода при налагаемых ограничениях или создавшейся обстановки; блок задержки, отражающий условия, необходимые для «переключения» человека на новый вид деятельности или выполнения новых операций, а также время ожидания пока произойдет отработка необходимых функций управляемым объектом или используемым техническим устройством (рис. 10.3).

Вспомогательные технологические единицы — это блоки операций, вводимые в структуру деятельности для увеличения вероятности безошибочного выполнения операций, в которых не было бы необходимости при идеально надежной работе человека и техники.

К вспомогательным технологическим единицам относятся: блоки самоконтроля (контроля ошибок) — блоки операций, целью которых является проверка безошибочности выполнения предшествующих основных блоков (см. рис. 10.3); блоки диагностического контроля — блоки операций, цель которых заключается в проверке исправности технических средств, используемых при выполнении основных блоков (см. рис. 10.3).

На технологическом уровне управления важное значение приобретают психологические функции деятельности диспетчера, такие, как восприятие, мышление, принятие решений, двигательные (мо-

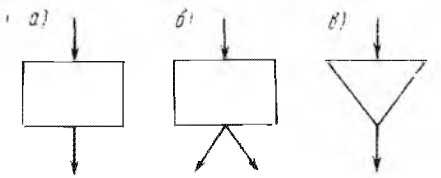



Рис. 10.2. Основные технологические единицы деятельности:
*а*—рабочий блок; *б*—блок решения; *в*—блок задержки

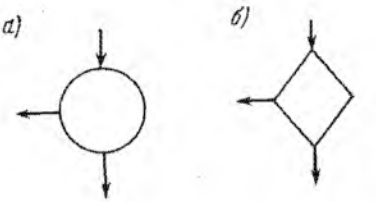



Рис. 10.3. Вспомогательные технологические единицы деятельности:
*а*—блок самоконтроля; *б*—блок диагностического контроля

торные) и речевые функции. Они особо проявляются при взаимодействии диспетчера с пультом управления в процессе УВД, так как именно эти функции позволяют производить обмен информацией между человеком и техникой. Вот почему важное место в вопросах оптимизации деятельности диспетчера в системе УВД занимает вопрос наиболее рациональной формы его взаимодействия с информационной моделью и органами управления.

**Контрольные вопросы**

1. Чем главным образом объясняется потеря интереса к проектам полностью автоматических систем УВД?
2. Поясните основной смысл понятия рабочей нагрузки диспетчера.
3. Опишите основные моменты изменения функций диспетчера в связи с развитием технических средств УВД.
4. Как изменились при этом проблемы совершенствования процессов УВД?
5. Поясните причину широкого распространения качественных методов анализа функций элементов в простейшем контуре системы УВД.
6. Перечислите основные задачи службы движения.
7. Приведите перечень основных задач и функций, осуществляемых диспетчером.
8. Какие технологические единицы можно выделить в структуре деятельности диспетчера?

## 10.2. Особенности деятельности диспетчера

Особенности деятельности диспетчера предопределяются структурой простейшего контура системы УВД, в котором он функционирует, поставленными перед ним целями и задачами, особенностями процесса производства полетов, т. е. характеристиками подсистем навигации и пилотирования. Рассмотрим природу возникновения, содержания и характеристики некоторых особенностей деятельности диспетчера в простейшем контуре системы УВД.

Полиэргатичность и монофункциональность деятельности заключается в том, что процесс управления полетом на всем его протяжении осуществляется многими диспетчерами поочередно на различных диспетчерских пунктах. Однако на определенном участке полета в определенной зоне непосредственное управление осуществляется лишь под воздействием одного диспетчера.

Взаимодействие диспетчеров различных пунктов управления, в том числе пунктов служб обеспечения, происходит на информационном уровне посредством связи между ними так же, как и с объектами управления («вход», «выход», «информация»). Преимущество данного характера управления относит деятельность диспетчера к деятельности по приему, переработке и выдаче информации.

Деятельность диспетчера отличает опосредствованный характер управления, при котором управляемые объекты летательных аппаратов находятся вне поля его зрения. Так, из числа всех диспетчерских пунктов, участвующих в непосредственном управлении воздушным движением, диспетчеры, работающие на диспетчерском пункте руления (ДПР) и стартовом диспетчерском пункте (СДП), не всегда могут по различным причинам (рельеф местности, метеоусловия) визуально наблюдать движение летательных аппаратов. Это вызывает необходимость оснащения диспетчерских пунктов радиотехническими и радиолокационными устройствами для получения информации о состоянии объектов управления.

Особенность дистанционного характера управления заключается в том, что между диспетчером и летательным аппаратом «вклиниваются» системы дистанционной передачи. Информацию о состоянии летательного аппарата диспетчер получает от приборов и экипажа в виде закодированных сообщений (азимут, дальность, высота, режим полета и т. д.), а воздействие на летательный аппарат осуществляет посредством подачи команд экипажу по установленной фразеологии радиообмена. Особенность дистанционного управления в процессе УВД заключается еще и в том, что оно носит двухступенчатый характер ввиду реализации осуществляемых воздействий диспетчером не непосредственно на летательный аппарат, а через экипаж.

Опосредствованный и дистанционный характер управления вынуждает диспетчера взаимодействовать в процессе своей деятельности с образами, заменяющими объекты и среду, в которой они функционируют — с информационной моделью объектов и среды. Благодаря оперативной настройке информационная модель в сознании диспетчера отражается в виде оперативного образа, адекватного задаче, которая перед ним поставлена, а совместно с полученными им ранее знаниями, опытом работы, широким пониманием задач и целей служит основанием для формирования концептуальной модели, обусловливающий деятельность диспетчера в процессе УВД.

Своеобразие формирования оперативного образа у диспетчера состоит в том, что информация о непрерывно движущихся летательных аппаратов поступает к нему дискретно и он вынужден прибегать к экстраполяции этого передвижения. Это вызывает особые требования к средствам отображения информации (СОИ) на диспетчерских пунктах, которые должны содействовать созданию у диспетчера необходимого оперативного образа. Именно в этом вопросе заключается одно из направлений автоматизации процессов УВД.

Деятельность диспетчера связана с функционированием объектов управления в воздушном многомерном пространстве и их перемещением относительно трех координатных осей. Это требует хорошего пространственного воображения, позволяющего представить поступающую от СОИ двухмерную информацию в объемном, соответствующем реальной воздушной обстановке виде, либо значительного быстродействия при выполнении логических операций, позволяющего получать решения без геометрических образов.

Диспетчер одновременно управляет несколькими летательными аппаратами. Он постоянно и в конкретной форме отражает в своем сознании как всю динамическую воздушную обстановку (ДВО) в целом, так и ее отдельные детали. При этом представления диспетчера системны и динамичны. Системность представлений выражается в том, что движение того или иного летательного аппарата отражается диспетчером не изолированно, а лишь в связи с движением других летательных аппаратов. Наряду с этим передвижение летательных аппаратов для него осуществляется в рамках статических объектов — границах воздушной зоны, установленных маршрутов полета, поворотных пунктов и т. д. Все это представляет для диспетчера единую систему ДВО, каждый элемент которой определенным образом взаимосвязан друг с другом.

Динамичность же представления связывается не только с большими скоростями полета летательных аппаратов, но постоянным изменением воздушной обстановки, параметров полета (скорость, режим, высота) и изменчивостью метеорологических условий.

Диспетчер действует в условиях лимита времени. Рост скорости полета летательных аппаратов и интенсивность их движения приводят к скоротечности процессов управления полетами, что требует от диспетчера быстрой реакции, обостренного внимания, пластичности мышления.

Лимит времени, в условиях которого приходится работать диспетчеру, вызывается не только возросшей скоростью полета летательных аппаратов и многоконтурностью управления, но и сложным характером процесса управления.

Сложность процессов функционирования простейшего контура системы УВД, подверженность воздействию среды и ее динамичность требуют от диспетчера одновременного решения нескольких самостоятельных задач, различных по своей важности и характеру. При этом возникают случаи, когда способ действия по решению данных задач либо отсутствует вовсе (нет предписанного алгоритма), либо, несмотря на необычность ситуации, в распоряжении диспетчера имеются отдельные приемы, комбинация которых в новых сочетаниях приводит к решению задач. Такого рода ситуации, типичные для труда диспетчера, можно характеризовать как проблемные. Поэтому, несмотря на наличие различного рода предписаний, инструкций, технологий и т. п., процессы управления в контурах системы УВД относятся к классу недетерминированных, а деятельность диспетчера в таком простейшем контуре системы УВД — к эвристической. Вот почему разработка автоматизирован-

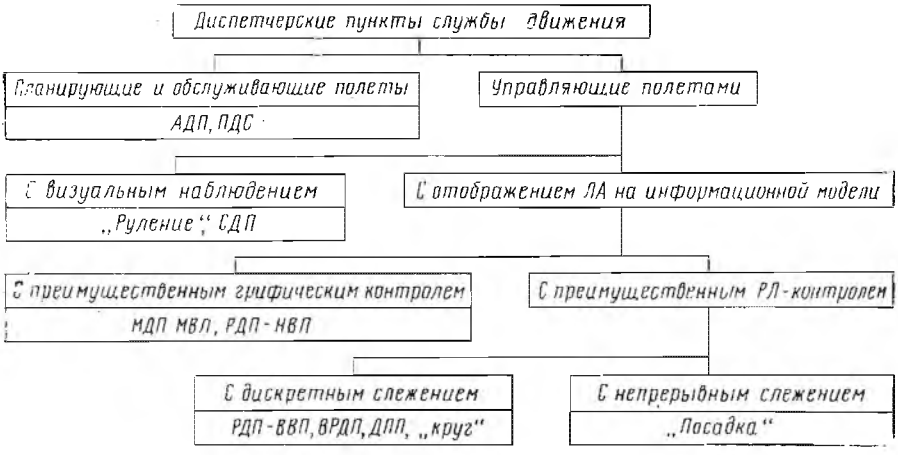



Рис. 10.4. Классификация диспетчерских пунктов по информационно-функциональному признаку

ных систем по выработке прогнозов ДВО, рекомендаций диспетчеру, а также различного рода количественных рекомендаций и оптимальных решений в процессе УВД приобретает большое практическое значение.

Однако разработка автоматизированных систем УВД во многом будет зависеть от того, насколько изучены все задачи, логические операции, решаемые диспетчером в процессе УВД, насколько полно и успешно будет формализована его деятельность в процессе исследования. Это позволит выявить те задачи и операции, автоматизация которых принесет требуемый эффект и снизит нагрузку на диспетчера.

Возникновение в процессе функционирования простейшего контура системы УВД восстанавливаемых и невосстанавливаемых отказов техники, а также ошибок в деятельности диспетчера, приводящих порой к нежелательным исходам, также является одной из особенностей его труда. Это требует от диспетчера постоянного состояния готовности к опасным явлениям, мобилизованности. Он всегда должен принять необходимые решения и осуществить требуемые воздействия по ликвидации аварийной ситуации. Ошибки диспетчера в этой ситуации могут привести к тяжелым последствиям. В этой связи деятельность диспетчера характеризуется большим эмоциональным напряжением, связанным с чувством высокой ответственности за жизни людей. Именно в этой особенности человека, проявляющейся в ошибочных решениях и действиях, которые могут повлечь за собой нежелательные исходы, кроется проблема функциональной надежности диспетчера.

Определяя путь повышения функциональной надежности диспетчера, следует учитывать, что его деятельность происходит на фоне помех, порождаемых внешней средой. Эта особенность требу-

ет от диспетчера таких качеств, которые принято называть высокой психофизиологической устойчивостью.

Особенности деятельности могут послужить базой для профрекомендации лицам диспетчерского состава с целью их наиболее эффективного функционирования на различных диспетчерских пунктах, классификация которых по информационно-функциональному признаку дана на рис. 10.4.

**Контрольные вопросы**

1. В чем заключается необходимость и в чем состоит основной смысл деятельности диспетчера?
2. Поясните особенности деятельности диспетчера, определяемые как полиэргатичность, монофункциональность, информационный и опосредственный характер, дистанционность и т. д.
3. Что можно сказать относительно роли оперативного образа у диспетчера?
4. Какие особенности деятельности диспетчера взаимосвязаны с показателем быстродействия?
5. Дайте обоснование ряда особенностей деятельности, требующих от диспетчера определенных психофизиологических свойств.

## 10.3. Факторы, влияющие на качество деятельности диспетчера

В общем случае с помощью термина «качество деятельности» выражается обычно характеристика, оценивающая степень приспособленности человека-оператора к выполнению поставленных перед ним задач.

В связи с тем, что процесс функционирования простейшего контура системы УВД, а следовательно, и функционирование диспетчера в этой системе протекает в тесной взаимосвязи как с элементами контура, так и с внешней средой, то при оценке качества деятельности диспетчера необходимо учитывать влияние на него различных факторов Ф.

В различных исследовательских работах перечисляется большое количество факторов, оказывающих влияние на качество деятельности человека-оператора. В зависимости от природы и источника возникновения эти факторы могут быть разбиты на определенные группы.

К группе факторов, непосредственно связанных с человеком (диспетчером) как с субъектом в системе управления $Ф_ч$ относятся так называемые, личностные факторы (причины), которые присущи самому диспетчеру или прямым образом связаны с ним. Это профессиональные факторы, такие, как степень обученности и подготовки диспетчера (классность, стаж работы и т. д.). Затем следуют морально-политические и социально-демографические факторы (партийность, возраст). Значительную роль играют психофизиологические факторы. Кроме того, к ним относятся факторы, связанные с характером самой деятельности диспетчера — сложность предписанных ему функций, режим труда и т. п.

К группе технических факторов $\Phi_т$ относятся факторы, связанные с надежностными характеристиками — временем наработки на отказ отдельных элементов и в целом технических средств УВД (РТС, РЛС и др.), а также проявлением влияния этих средств, снижающих качество функционирования диспетчера в простейшем контуре системы УВД. В данном случае под отказом технических средств понимается событие, заключающееся в частичной или полной утере или в видоизменении таких свойств, которые приводят к существенному снижению или полной потере ее работоспособности. Отрицательное же влияние работоспособных технических средств на качество деятельности диспетчера обусловливается несогласованностью их входных или выходных параметров (тумблеров, СОИ и т. д.) с антропометрическими и психофизиологическими характеристиками человека.

Группа факторов, относящихся к проявлению влияния среды $\Phi_с$, содержит факторы внешнего характера по отношению к диспетчерскому пункту, на котором трудится диспетчер. К ним относятся условия, при которых происходят полеты летательных аппаратов, интенсивность воздушного движения, время производства полетов, организационные процессы УВД, характер зон управления, метеорологические факторы (включая микроклимат на рабочем месте диспетчера) и т. д.

Качество деятельности диспетчера зависит от вполне конкретных факторов, которые могут быть учтены и на которые возможно воздействовать с целью устранения их вредного влияния.

Другими факторами, влияющими на качество деятельности диспетчера, являются инженерно-психологические факторы (ИПФ). В общем случае под ИПФ понимаются переменные, оказывающие влияние на результат деятельности человека-оператора в системах управления, а следовательно, и на надежность и эффективность этих систем.

Они входят составной частью в $\Phi_ч$, $\Phi_т$ и $\Phi_с$ — группы, раскрывают человеко-технический характер систем управления и позволяют сконцентрировать внимание на причинах, приводящих к понижению надежности деятельности диспетчера. Исследования показывают, что из всей совокупности ИПФ, наиболее влияющими на качество деятельности диспетчера, являются:

соответствие структуры (алгоритма) деятельности диспетчера его психофизиологическим характеристикам (тип, характер, последовательность и сложность выполняемых диспетчером функций, распределение функций между ним и техникой);

обученность диспетчера, т. е. уровень его основных знаний, навыков, умения, опыта практической работы;

соответствие конструкции рабочего места психофизиологическим и антропометрическим характеристикам диспетчера, а также степень согласованности этих характеристик с технологическим процессом деятельности (характеристика и размещение СОИ, органов управления и т. д.);

условия внешней среды на рабочем месте диспетчера (температура воздуха, его чистота, загазованность, влажность, шум в помещении и т. д.), т. е. условия обитаемости и микроклимат;

организация трудового процесса (продолжительность непрерывной работы, характер отдыха, цикличность рабочих смен и т. д.).

В ряду ИПФ особо следует отметить большое влияние морально-политических качеств диспетчера на его эмоциональную устойчивость и соответственно на результаты деятельности. Формирование этих качеств должно осуществляться повседневно и прежде всего идейно-политической направленностью процесса подготовки специалиста по УВД.

В настоящее время наименее изученным является первый фактор, относящийся к характеру деятельности диспетчера. До сего времени имеющиеся отдельные методики учета показателей этой деятельности не нашли широкого применения, так как в своей основе носят преимущественно качественный характер.

**Контрольные вопросы**

1. Поясните роль анализа влияния различных факторов при исследовании деятельности диспетчера.
2. Какие группы факторов можно отнести к основным?
3. Что понимается обычно под совокупностью инженерно-психологических факторов?
4. Какой из факторов среди всей совокупности ИПФ можно считать наиболее и наименее изученным?

## Глава 11

## СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДИСПЕТЧЕРА

### 11.1. Уровни деятельности диспетчера

Деятельность диспетчера в системе УВД представляет собой взаимодействие с экипажами летательных аппаратов и диспетчерами смежных диспетчерских пунктов. Диспетчер на основе знаний, опыта, навыков и восприятия информации со средств отображения информации (экранов радиолокаторов, графиков, стрипов и других источников информации) формирует в своем сознании общую информационную модель управления. Информационная модель является тем образом, посредством которого осуществляется непосредственное управление воздушным движением. В процессе управления диспетчер решает определенные задачи УВД. К типовым задачам, решаемым диспетчером в процессе УВД относятся: планирование и обеспечение полетов; подготовка к дежурству и прием дежурства; анализ и оценка воздушной обстановки; прогноз и оценка развития состояния воздушной обстановки; принятие решений при УВД в условиях полной и неполной информации; разрешение потенциально-конфликтных ситуаций; распределение внимания при

одновременном выполнении нескольких задач (действий); определение очередности посадки и выпуска летательных аппаратов; управление воздушным движением в особых случаях полета и др.

Решение каждой задачи можно разбить на группы операций, представленных в виде типовых блоков технологических единиц, т. е. совокупности отдельных операций.

К таким типовым технологическим единицам, выполняемым диспетчером в процессе УВД, следует отнести: определение параметров движения летательных аппаратов; применение правил и фразеологии радиообмена; определение отклонений параметров движения летательных аппаратов от программы полета; определение местоположения и опознавание летательного аппарата; предупреждение опасных сближений летательных аппаратов на одном эшелоне методами вертикального, бокового или продольного эшелонирования; регистрация информации и ее коррекция на средствах процедурного контроля; использование справочных материалов; определение интервалов выпуска и посадки летательных аппаратов; расчет интервалов между летательными аппаратами при пересечении попутных или встречных занятых эшелонов и при полетах на пересекающихся маршрутах; расчет рубежа возврата летательного аппарата и др.

Следовательно, детализируя деятельность диспетчера на этапе непосредственного УВД, можно выделить три уровня иерархических единиц деятельности диспетчера.

1. Уровень решаемых задач — комбинаций функциональных единиц, объединенных в технологическом смысле в законченные задачи УВД.

2. Уровень групп операций технологических единиц — устойчивых комбинаций оперативных единиц, представляющих самостоятельные блоки.

3. Уровень операционных единиц — отдельных (элементарных) операций, до которых необходимо расчленить деятельность диспетчера.

Непосредственное управление воздушным движением представляет собой непрерывный процесс восприятия, переработки и выдачи информации диспетчером в виде принятых им решений экипажам летательных аппаратов с целью предупреждения опасных сближений в полете, а также выполнения плана полета. Поэтому на автоматизированную систему УВД целесообразно возложить функции непрерывного процесса сбора, обработки и представления информации в удобном для диспетчера виде.

Однако автоматизированная обработка информации, а также автоматизация некоторых других элементов деятельности диспетчера немыслима без алгоритмизации отдельных этапов его деятельности. Если заданы условия воздушной обстановки и известны перечень задач и операций, решаемых диспетчером, то можно смоделировать и решить многие задачи анализа и синтеза деятельности диспетчера.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите задачи, решаемые диспетчером в процессе УВД.
2. Поясните сущность информационной модели в процессе принятия решения.
3. Каковы различия между уровнями деятельности диспетчера?
4. Какие проблемы возникают при автоматизации деятельности диспетчера?

## 11.2. Алгоритмическое описание

В настоящее время в литературе описано несколько методов анализа деятельности диспетчера [19]. Наиболее простым и наглядным методом является алгоритмическая модель. Сущность алгоритмического анализа деятельности диспетчера состоит в разложении процесса непосредственного УВД на элементарные операции. Такими операциями являются восприятие, извлечение из памяти образцов, понятий, считывание координат летательных аппаратов с экрана индикатора, осуществление вычислительных операций, нажатие тумблеров и пр. Для записи алгоритма применяются блочная (БСА) и логическая схема алгоритма (ЛСА).

С помощью блочных схем алгоритма можно выявить элементы трудового процесса, которые необходимо автоматизировать. Логические схемы могут быть использованы и при разработке вариантов инструкций при принятии решений в стандартных и особых случаях УВД. БСА представляет собой графическое построение операций и логических условий. Операции обозначаются прямоугольниками, логические условия — ромбами. Внутри каждого прямоугольника и ромба записывается смысл данного оператора алгоритма. Тогда процесс деятельности диспетчера можно изобразить в виде графа. Каждой вершине графа ставится в соответствие некоторый оператор, который реализуется в этой вершине. Оператором может быть сеанс радиообмена, определение места летательного аппарата, вычисление некоторого выражения или какое-нибудь действие, которое необходимо выполнить диспетчеру при реализации управляющего воздействия. Дугам, соединяющим вершины, придается смысл указателя последовательности выполнения операторов. Если выполняется логическое условие, то управление передается по стрелке с номером 1, в противном случае по стрелке с номером 0.

В ЛСА большими латинскими буквами обозначаются операторы, буквой $P$ — логические условия. От каждого символа логического условия $P$ начинается нумерованная стрелка $\overset{1}{\uparrow}$, которая оканчивается у какого-либо другого элемента записи $\overset{1}{\downarrow}$. Работа ЛСА начинается с того, что срабатывает самый левый элемент записи. После этого определяется, какой элемент алгоритма должен работать следом за ним. Если первый элемент — оператор, то должен сработать очередной элемент, который идет за ним. Если же первый элемент схемы — логическое условие, то возможно два исхода: логическое условие выполняется, тогда срабатывает следующий элемент алгоритма, или оно не выполняется — срабатывает тот элемент, к которому ведет нумерованная стрелка.

Рассмотрим деятельность диспетчера при заходе летательного аппарата на посадку по радиолокатору от начала предпосадочной прямой до точки входа в глиссаду. Задача диспетчера состоит в том, чтобы удерживать движение отметки летательного аппарата на экране радиолокатора строго по линии заданного пути (курса). Диспетчер должен непрерывно следить за перемещением летательного аппарата относительно линии курса, определять тенденцию отклонения и с помощью соответствующих команд экипажу выводить летательный аппарат на линию заданного пути.

Для построения алгоритма, моделирующего деятельность диспетчера при УВД на данном участке полета требуются следующие операторы:

$A_1$ — определение местоположения летательного аппарата относительно торца ВПП;

$P_1$ — проверка условия отклонения летательного аппарата относительно линии курса;

$A_2$ — определение величины бокового отклонения летательного аппарата;

$A_3$ — вычисление поправки в направлении полета летательного аппарата;

$P_2$ — проверка условия $S_k - 2 \geqslant S_\Phi$, где $S_k$ — удаление летательного аппарата в момент выдачи экипажу предыдущей команды;

$A_4$ — сообщение экипажу о магнитном курсе (МК) следования;

$P_3$ — проверка условия $S_\Phi - S_{\text{твг}} \leqslant 600$, где $S_\Phi$ — удаление летательного аппарата от торца ВПП в данный момент времени;

$P_4$ — проверка условия соответствия минимума посадки для данного летательного аппарата;

$A_5$ — разрешение экипажу на снижение по глиссаде;

$A_6$ — команда на повторный заход.

Логическая схема данного алгоритма деятельности диспетчера казана на рис. 11.1.

$$\underset{2}{\downarrow}\ \underset{3}{\downarrow} A_1 P_1 \overset{1}{\uparrow} A_2 A_3 \underset{1}{\downarrow} P_2 \overset{2}{\uparrow} A_4 P_3 \overset{3}{\uparrow} P_4 \overset{4}{\uparrow} A_5 \underset{4}{\downarrow} A_6.$$

Блочная схема алгоритма деятельности диспетчера посадки на этапе полета «четвертый разворот — точка входа в глиссаду» показана на рис. 11.1.

После выхода экипажа на связь диспетчер посадки опознает и определяет местоположение данного летательного аппарата относительно установленной схемы захода. Диспетчер проверяет отклонение отметки летательного аппарата (оператор $P_1$) относительно линии курса на экране радиолокатора. Если отклонения не наблюдается, то по стрелке с индексом 0 выполняется оператор $P_2$. При отклонении летательного аппарата от линии заданного пути управление по стрелке с индексом 1 передается элементу $A_2$. Дис-

петчер (оператор $A_2$) определяет боковое отклонение летательного аппарата относительно линии курса, рассчитывает поправку в курс следования с учетом величины бокового уклонения, ее тенденции и удаления летательного аппарата от торца ВПП (оператор $A_3$).

Диспетчер должен передавать экипажу информацию об удалении летательного аппарата до начала ВПП не реже чем через 2 км до пролета ДПРМ. Это условие проверяет оператор $P_2$. Если с момента последнего сообщения летательный аппарат пролетел расстояние менее 2 км, то диспетчер посадки должен работать в режиме слежения (возврат к оператору $A_1$), следить за тенденцией отклонения отметки летательного аппарата от линии курса, рассчитывать поправку и определять курс следования. Если же условие, проверяемое оператором $P_2$, выполнено, то диспетчер передает экипажу магнитный курс полета и расстояние летательного аппарата до торца ВПП (оператор $A_4$).

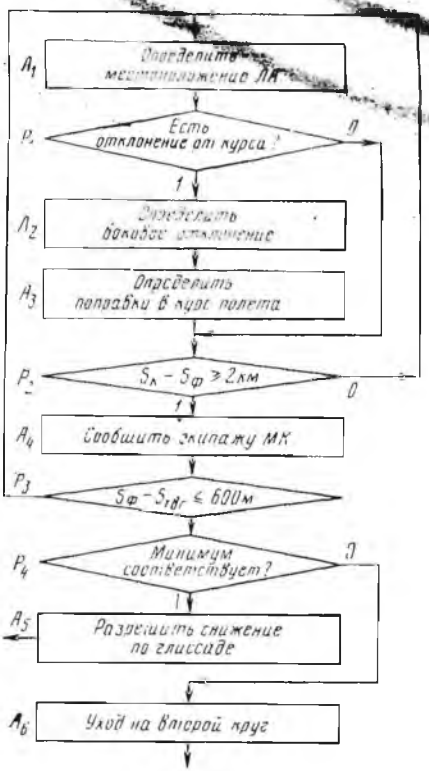



Рис. 11.1. Алгоритм деятельности диспетчера посадки на этапе полета «четвертый разворот — ТВГ»

Диспетчер обязан передать экипажу информацию о подходе воздушного судна к глиссаде планирования за 400—600 м. Если условие, проверяемое оператором $P_3$, не выполняется, то цикл управления повторяется, начиная с оператора $A_1$. В противном случае диспетчер проверяет соответствие минимума посадки командира и летательного аппарата метеорологическим условиям посадки. Если условие $P_4$ выполнено, то диспетчер разрешает экипажу снижение по глиссаде. Если же условие, проверяемое оператором $P_4$, не выполняется, то экипажу запрещается заход на посадку. В этом случае в зависимости от обстоятельств диспетчер: направляет летательный аппарат на запасной аэродром; разрешает ему снижение до высоты принятия решения или разрешает экипажу повторить заход на посадку.

Время, затрачиваемое диспетчером на переработку информации и принятие решения, зависит прежде всего от числа логических условий, предшествующих принятию решения.

Разветвленность алгоритма, осуществление управления воздушным движением на одном канале связи вместе с диспетчером старта говорит о том, что процесс деятельности диспетчера посадки становится не только сложным, но стохастическим. Следовательно, при всей наглядности и простоте алгоритмическим моделям свойственен недостаток, заключающийся в отсутствии в них операций синтеза и описания стохастического характера деятельности диспетчера.

**Контрольные вопросы**

1. В чем различие между способом описания БСА и ЛСА деятельности диспетчера?
2. Каковы характерные особенности алгоритмического описания деятельности?
3. Можно ли заранее составить программу действий (алгоритм) диспетчера для любой возможной ситуации?
4. Опишите поведение диспетчера на этапе полета летательного аппарата «ТВГ—ДПРМ».

## 11.3. Структурная модель

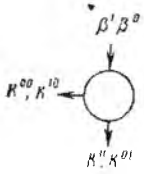
Структурные модели позволяют отобразить оценки деятельности диспетчера с точки зрения ее эффективности и надежности. Качественным отличием структурных моделей от алгоритмических является использование «типовых блоков» с известными вероятностными и временными характеристиками. К типовым блокам относятся [19] (табл. 11.1):

Таблица 11.1

**Формальные единицы деятельности**

| Типовые блоки | Характеристики безошибочности | | Характеристики быстродействия | |
|---|---|---|---|---|
| | Название | Обозначение | Название | Обозначение |
| Рабочая: сенсорная, моторная  | Вероятность безошибочного выполнения | $\beta^1$ | Математическое ожидание времени | $M(T)$ |
| | Вероятность выполнения с ошибкой | $\beta^0$ | Дисперсия времени выполнения | $D(T)$ |
| Логическая   | Вероятность безошибочного выбора исхода I при фактической необходимости его выбора | $\beta^{11}$ | Математическое ожидание времени | $M(T)$ |
| | Вероятность ошибочного выбора исхода II при фактической необходимости выбора исхода I | $\beta^{12}$ | | |
| | Вероятность безошибочного выбора исхода | $\beta^{22}$ | Дисперсия времени выполнения | $D(T)$ |

Продолжение табл. 11.1

| Типовые блоки | Характеристики безошибочности | | Характеристики быстродействия | |
|---|---|---|---|---|
| | Название | Обозначение | Название | Обозначение |
| | II при фактической необходимости его выбора | | | |
| | Вероятность ошибочного выбора исхода I при фактической необходимости выбора исхода II | $\beta^{21}$ | | |
| Функциональный контроль  | Вероятность признания выполнения единиц правильным при фактически правильном их выполнении | $K^{11}$ | Математическое ожидание времени выполнения | $M(T)$ |
| | Вероятность признания выполнения единиц неправильным при фактически правильном их выполнении | $K^{10}$ | Дисперсия времени выполнения | $D(T)$ |
| | Вероятность признания выполнения единиц неправильным при фактически неправильном их выполнении | $K^{00}$ | Вероятность безошибочного выполнения единиц, которые контролируются | $\beta^{1}$ |
| | Вероятность признания выполнения единиц правильным при фактически неправильном их выполнении | $K^{01}$ | Вероятность ошибочного выполнения единиц, которые контролируются | $\beta^{0}$ |

рабочая единица (сенсорная, моторная), обозначается прямоугольником. Под сенсорной единицей понимается функционирование по восприятию информации со средств отображения информации (диспетчерских графиков и т. д.) с помощью зрительного либо слуховых сенсорных входов диспетчера;

логическая единица (альтернативная), обозначается ромбом и представляет собой альтернативу выбора одного из нескольких действий;

функциональный контроль (обозначается кружком) отображает функционирование с целью управления правильности выполнения определенной основной или нескольких основных единиц.

Формулы, приведенные в табл. 11.2, могут быть использованы при определении функциональной и структурной надежности некоторых типовых математических моделей.

Процесс УВД требует от диспетчера знаний технологии работы, которая предписывает порядок выполнения операций при решении конкретной задачи УВД. Оценить надежность решения лю-

Таблица 11.2

**Типовые блоки формальных единиц**

| № п/п | Графическое изображение блока | Эквивалентная структура | Расчетные зависимости |
|---|---|---|---|
| 1 | Блок последовательно выполняемых единиц | | $\beta'_s = \prod_{i=1}^{n} \beta'_i;$ $\beta^0_s = 1 - \beta'_s.$ $M[T] = \sum_{i=1}^{n} M(T_i),$ $D[T] = \sum_{i=1}^{n} D(T_i).$ |
| 2 | Блок параллельно выполняемых рабочих единиц | | $\beta'_s = \beta'_1\beta'_2;$ $\beta^0_s = 1 - \beta'_s.$ $T = \min[T_1, T_2]$ или $T = \max[T_1, T_2].$ $\beta'_s = \frac{\beta'_p K^{11}}{1 - (\beta'_p K^{10} + \beta^0_p K^{00})};$ $M[T] = [M(T_р) + M(T_ф)]\, M(L),$ где $M[L] = \frac{1}{1 - (\beta'_p K^{10} + \beta^0_p K^{\infty})};$ $L$ — число циклов; $D(T) = D(L)\,[M(T_р) + M(T_ф)]^2 + [D(T_р) + D(T_ф)]\, M(L);$ где $D(L) = \frac{\beta'_p K^{10} + \beta^0_p K^{00}}{\left[1 - (\beta'_p K^{10} + \beta^0_p K^{00})\right]^2};$ $T_р$, $T_ф$ — время выполнения рабочих единиц и функционального контроля |
| 3 | Блок последовательно выполняемых рабочих единиц с функциональным контролем | | |

бой задачи УВД можно с помощью структурного метода. После получения такой оценки нужно обосновать содержание и порядок выполнения технологии работы, требования к рабочему месту диспетчера, к профессиональному отбору, обучению и квалификации диспетчерского состава. Например, при известных вероятностных и временных (на уровне математических ожиданий и дисперсий) значениях при выполнении типовых блоков можно рассчитать вероятность выполнения диспетчером посадки и предписанных опера-

ций. Обобщенная структура деятельности диспетчера посадки на этапе управления «четвертый разворот — точка входа в глиссаду» показана на рис. 11.2.

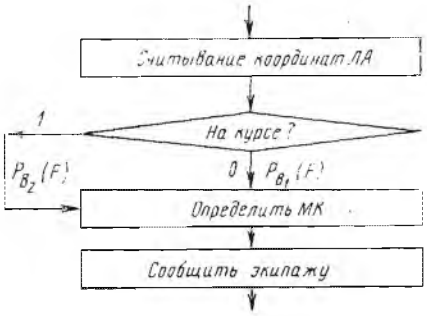



Рис. 11.2. Алгоритм деятельности диспетчера посадки

При заходе на посадку по радиолокатору возможны отклонения летательного аппарата от линии курса. Допустим, что на сто заходов имеют место 85 случаев отклонения летательных аппаратов от линии курса. При уклонении летательного аппарата от линии курса диспетчер может безошибочно определять его местоположение на экране радиолокатора с вероятностью 0,7 и с вероятностью 0,9, если отметка самолета перемещается по линии курса.

Требуется найти безошибочность выполнения предписанного алгоритма. Обозначим через $F_1$ вероятность выполнения очередной операции $D_1$, через $B_1$ и $B_2$ — события, заключающиеся в том, что полет летательного аппарата осуществляется с отклонением и без отклонения от линии заданного пути.

Вероятности этих событий $P(B_1)=0{,}85$ и $P(B_2)=0{,}15$. Условные вероятности события $F_1$ относительно каждого из них $P_{B_1}(F)=0{,}7$ и $P_{B_2}(F)=0{,}9$. Искомое событие $F_1$ наступит, если произойдут: событие $K$ — летательный аппарат следует с уклонением и диспетчер правильно определил его местоположение; событие $L$ — летательный аппарат следует без уклонения и диспетчер правильно определил его местоположение. Событие является суммой событий $K$ и $L$, которые являются несовместимыми. Применяя теорему сложения вероятностей, искомое событие

$$P(F_1)=P(K+L)=P(K)+P(L).$$

По теореме умножения вероятностей следует:

$$P(F_1)=P(B_1)P_{B_1}(F_1)+P(B_2)P_{B_2}(F_1)=\sum_{i=1}^{n}P(B_i)P_{B_i}(F_1).$$

В данном случае $P(F_1)=0{,}85\cdot 0{,}7+0{,}15\cdot 0{,}9=0{,}73$.

Укрупняя структуру деятельности до типовых блоков, придем к эквивалентной структуре, показанной на рис. 11.3. На основании расчетных формул (см. табл. 11.2) вероятность безошибочного выполнения алгоритма $F=\prod_{i=1}^{2}F_i=0{,}73\cdot 0{,}99=0{,}723$.

Как правило, диспетчер посадки осуществляет функциональный контроль за своей деятельностью. Допустим, что:

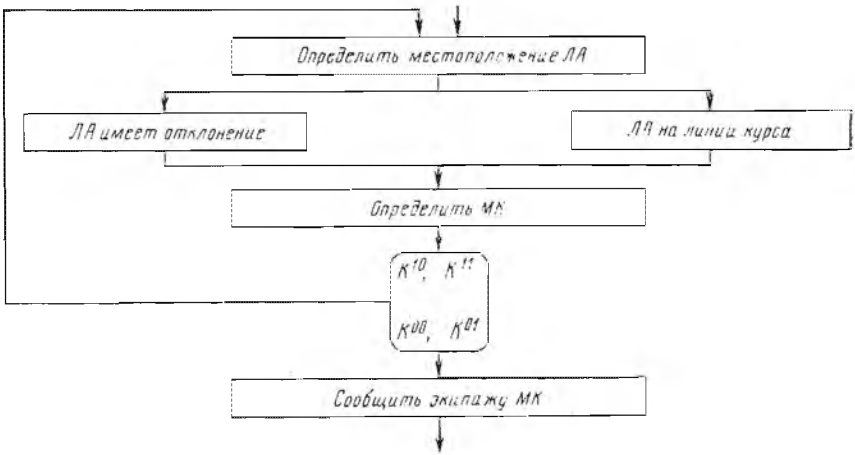



Рис. 11.3. Структура деятельности диспетчера посадки на этапе «четвертый разворот — ТВГ» с функциональным контролем

$F_1^1 = 0{,}73$ — вероятность безошибочного считывания координат отметки самолета на экране радиолокатора;

$F_1^0 = 0{,}27$ — вероятность ошибочного считывания координат отметки самолета;

$K^{11} = 0{,}8$ — вероятность признания выполнения операций правильным при фактически правильном их выполнении;

$K^{10} = 0{,}2$ — вероятность признания выполнения операций неправильным при фактически правильном их выполнении;

$K^{00} = 0{,}9$ — вероятность признания выполнения операций неправильным при фактически ошибочном их выполнении;

$K^{01} = 0{,}1$ — вероятность признания выполнения операций правильным при фактически ошибочном их выполнении.

Предполагается, что в случае обнаружения ошибки при определении местоположения летательного аппарата типовой блок алгоритма повторяется.

При повторном определении местоположения самолета вновь возможны ошибки.

При этом показатель функциональной надежности не зависит от числа циклов повторений. Дерево вероятностей возможных исходов изображено на рис. 11.4.

В процессе управления возможны ошибки, допускаемые диспетчером при выполнении основных и функциональных операций. Можно рассмотреть следующие три исхода:

1. Переход к выполнению следующей операции без повторения блока алгоритма при отсутствии ошибок в выполнении последнего с вероятностью

$$M_0 = F_1^1 K^{11} = 0{,}73 \cdot 0{,}8 = 0{,}584.$$

2. Переход к выполнению следующей операции при наличии невыявленной ошибки в выполнении данного блока алгоритма с вероятностью

$$N_0 = F_1^0 K^{01} = 0{,}27 \cdot 0{,}1 = 0{,}027.$$

3. Повторение блока алгоритма и функционального контроля с вероятностью

$$P_0 = F_1 K^{10} + F_1^0 K^{00} = 0{,}73 \cdot 0{,}2 + 0{,}27 \cdot 0{,}9 = 0{,}389.$$

При каждом $l$-м повторении этого блока алгоритма могут иметь место эти же три исхода (см. рис. 11.4).

Так как блок алгоритма составлен из последовательно выполняемых рабочих единиц, то временные затраты на выполнение блока будут равны сумме математических ожиданий времени выполнения эквивалентной основной единицы $T_в$ и функционального контроля $T_ф$, умноженной на математическое ожидание числа повторений $M[L]$, т. е.

$$M(T) = [M(T_в) + M(T_ф)]\, M(L),$$

где

$$M(L) = \frac{1}{1 - F_1' K^{10} - F_1^0 K^{00}}.$$

Дисперсия времени блока алгоритма определяется как дисперсия двух случайных величин времени выполнения блока и числа повторений $L$:

$$D(T) = D(L)[M(T_в) + M(T_ф)]^2 + M(L)[D(T_в) + D(T_ф)],$$

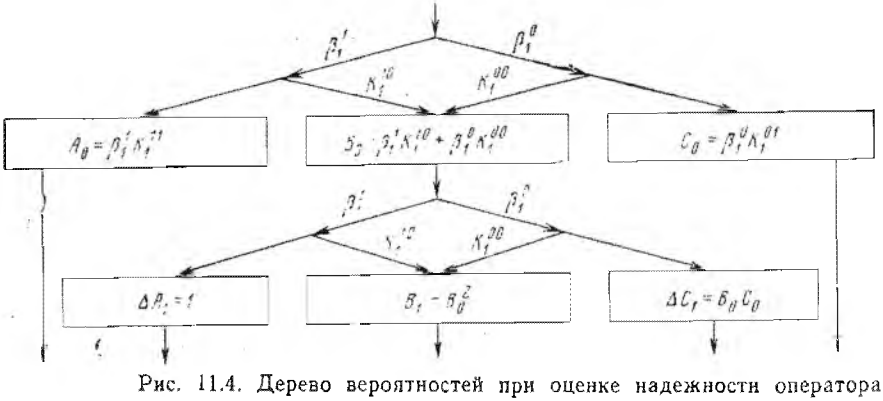


Рис. 11.4. Дерево вероятностей при оценке надежности оператора

где

$$D(L)=\frac{F_1^1K^{10}+F_1^0K^{01}}{(1-F_1^1K^{10}-F_1^0K^{00})^2}.$$

При кажущейся простоте обобщенного структурного метода ему свойственны определенные недостатки и трудности: данная модель не учитывает влияния внешних факторов, среды, эмоций оператора и т. п. Здесь, как и в случае ЛСА, не учитывается стохастическая деятельность оператора. Алгоритмический и структурный анализы отражают лишь конкретные виды деятельности, но не моделируют профессиональную деятельность диспетчера в целом. Ограниченность данных моделей заключается еще и в том, что они не позволяют раскрыть реальную алгоритмическую структуру деятельности в ее динамике.

В структурно-алгоритмической модели [19] деятельность диспетчера может быть представлена в виде системы взаимосвязанных элементов, обладающих определенными динамическими свойствами и количественными характеристиками. Любая профессиональная деятельность может быть представлена в виде абстрактного графа деятельности (АГД), где вершины его отображают элементы деятельности, а дуги — связи между элементами.

Процедура структурно-алгоритмического моделирования деятельности включает три этапа: структурный анализ, алгоритмизацию, структурно-алгоритмический синтез.

Цель структурного анализа заключается в выделении уровней деятельности, режимов работы и задач, решаемых диспетчером в процессе УВД. Выделение режимов работы диспетчера основывается либо на технологическом принципе (подготовка и прием дежурства, осуществление непосредственного УВД и т. д.), либо на специфике условий работы (штатные, особые случаи полета и др.). Затем выделяется перечень задач, решение которых возможно в данном режиме работы.

На этапе алгоритмизации разрабатывают в матричной и графической форме вероятностные алгоритмы для всей совокупности задач. При этом сначала строят и анализируют алгоритмы реализации возможных решений задач. Затем из взвешенных реализаций синтезируют вероятностные алгоритмы задач.

Выделяются сенсорные, моторные и логические действия диспетчера. Например, при пролете летательным аппаратом пункта обязательного донесения диспетчер выполняет определенные логические операции. В том случае, если: экипаж не доложил о пролете пункта, то он должен потребовать такого доклада; интервал между летательными аппаратами, следующими в одном направлении и на одном эшелоне не обеспечен, то необходимо перейти к решению другой задачи по предупреждению конфликтной ситуации; экипаж докладывает пролет пункта обязательных донесений (ПОД) перед рубежом передачи, то требуется передать информацию диспетчеру смежного сектора УВД о расчетном времени входа данного летательного аппарата в его сектор и согласовать высоту входа.

Частоту реализаций алгоритма получают на основе опыта или определяют ее априори по комбинациям логических действий. Структурный синтез деятельности представляет собой построение метаструктур из структур путем операций соединения. Сущность такого построения заключается в следующем.

Пусть определено $l$ задач и $m$ режимов работы диспетчера, причем в силу неопределенности развития воздушной обстановки решение $i$-й задачи ($i=\overline{1, l}$) в $r$-м режиме ($r=\overline{1, m}$) возможно $n$ способами, так что $j$-й способ ($j=\overline{1, n}$) из числа описанных в технологии работы выбирается диспетчером в зависимости от обстановки и прошлого опыта. Таким образом, $i$-я задача в $r$-м режиме решается диспетчером по вероятностному алгоритму, в котором каждая $j$-я реализация осуществляется с некоторой частотой $f_{rij}$, определенной на множестве $n$ несовместных событий, и представляет собой достоверную последовательность конечного числа некоторых элементарных операций. Строится ориентированный граф, вершины которого означают символы действий, а дуги между вершинами (операциями) означают переходы между операциями. Такому графу однозначно соответствует матрица смежности $A_{rij}$, строки и столбцы которого обозначают действия диспетчера в $j$-й реализации (технологической единицы), а элементы $a_{pq}$ характеризуют частоту перехода от действия $p$ к действию $q$ ($a_{pq}=0, 1, 2, \ldots$).

Пусть для $i$-й задачи в $r$-м режиме существует конечное число $n$ реализаций, для которых определены матрицы $A_{rij}$, а также частоты $f_{rij}$ этих реализаций. Тогда они обобщаются в матрицу $B_{ri}$, описывающую вероятностный алгоритм решения $i$-й задачи в $r$-м режиме:

$$B_{ri}=\overset{n}{\underset{j=1}{O}} A_{rij} f_{rij}.$$

Аналогично получается матрица $C_r$ для $r$-го режима работы:

$$C_r=\overset{l}{\underset{i=1}{O}} B_{ri} f_{ri} Z_r,$$

где $\overset{l}{\underset{i=1}{O}}$ — операция обобщения. Она служит для получения стохастических мультиграфов. При обобщении вершины графов объединяются, а частоты дуг алгебраически суммируются; $f_{ri}$ — частота появлений $i$-й задачи в $r$-м режиме; $Z_r$ — матрица переходов от задачи к задаче внутри $r$-го режима.

Матрица $D$, описывающая работу диспетчера во всех $m$ режимах, имеет вид

$$D=\overset{m}{\underset{r=1}{O}} C_r f_r O Z_r,$$

где $Z_r$ — матрица переходов от режима к режиму; $f_r$ — частота $r$-го режима работы диспетчера.

Тогда структурно-алгоритмическая модель деятельности диспетчера в матричной форме

$$D = \overset{m}{\underset{i=1}{O}} \left[ \overset{l}{\underset{i=1}{O}} \left( \overset{n}{\underset{j=1}{O}} A_{rij} f_{rij} \right) f_{ri} OZ_r \right] f_r OZ_r.$$

Данный математический аппарат позволяет описывать любую сложную индивидуальную деятельность и далее на полученном описании синтезировать деятельность диспетчерской смены в конкретной зоне управления воздушным движением.

**Контрольные вопросы**

1. С помощью каких типовых блоков описывается деятельность оператора?
2. Поясните сущность структурной модели деятельности.
3. Постройте структурную схему деятельности диспетчера посадки на этапе полета летательного аппарата «ТВГ—ДПРМ».
4. Какую оценку надежности диспетчера получите при этом?
5. В чем заключается преимущество структурно-алгоритмического моделирования деятельности по сравнению с другими моделями?

## 11.4. Статистические методы моделирования

В целом ряде случаев деятельность диспетчера может быть описана с позиции теории массового обслуживания. Тогда ее модель можно представить как одноканальную систему, которая поочередно подключается к различным объектам управления [54, 55]. При этом процесс управления следует рассматривать как реализацию стохастической последовательности моментов времени начала и окончания отдельных операций.

В основу оценки качества процесса могут быть положены следующие критериальные величины:

вероятностные — вероятность того, что диспетчер свободен (занят); вероятность наличия очереди операций; вероятность своевременного выполнения операций; вероятность безошибочного (ошибочного) выполнения операций.

временные — средний период непрерывной занятости; среднее время выполнения операции; среднее время пребывания в очереди обслуживания ЛА;

операционные — среднее число выполненных операций; средняя длина очереди (невыполненных операций).

Каждый отдельно взятый критерий позволяет решать лишь некоторые частные задачи оценки качества процесса. Учитывая специфику процесса УВД, наиболее целесообразными критериями следует считать вероятность своевременного выполнения операции и период непрерывной занятости диспетчера. Первый критерий характеризует качество процесса, второй — при каких условиях достигается данное качество. Эти критерии позволяют оценить степень загруженности диспетчера, его пропускную способность по выполнению типовых операций, напряженность работы, определе-

ние оптимальной степени занятости, а следовательно, и необходимый уровень автоматизации процесса УВД.

При определении степени загруженности диспетчера и вероятности выполнения заданного перечня операций вводятся следующие допущения: каждая конкретная операция относится к определенному классу; данный класс операций включает конкретные законы распределения величин $\tau$ и $t_л$ с определенными величинами параметров потока $\lambda$ и $\nu$.

При оценке эффективности деятельности диспетчера возникает необходимость в моделировании различных ситуаций, а также формировании случайных чисел с заданными законами распределения. В качестве исходных случайных чисел используются случайные числа с равномерным распределением в интервале [0, 1]. Процедура преобразования случайных чисел $x_i$, равномерно распределенных в интервале [0, 1], в случайные интервалы времени $z_i$ с заданным законом распределения $f(z)$ сводится к решению относительно $z_i$ интегрального уравнения

$$x_i = \int_{-\infty}^{z_i} f(z)dz, \qquad (11.1)$$

где $x_i$ — случайные числа из совокупности случайных чисел, равномерно распределенных в интервале [0, 1].

В результате решения этого уравнения находят такое значение $z_i$, для которого функция распределения равна $x_i$. Конечные формулы для вычисления случайных чисел в соответствии с законами распределения, наиболее часто используемыми при описании реальных процессов, приведены в табл. 11.3.

Таблица 11.3

**Основные соотношения формирования случайных чисел с заданными законами распределения**

| Распределение | Формулы | |
|---|---|---|
| | Плотности вероятности | Для вычисления случайных чисел |
| Экспоненциальное ($\lambda$—интенсивность потока) | $f(z) = \lambda e^{-\lambda z}$ | $z_l = -\frac{1}{\lambda} \ln x_l$ |
| Нормальное ($a$—математическое ожидание, $\sigma^2$—дисперсия) | $f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-a)^2}{2\sigma^2}}$, $-\infty < z < \infty$ | $z_i = a + \sigma z_l$, где $z_l = \sum_{l=1}^{12} x_l - 6$ |
| Эрланга ($n$, $\beta$—параметры распределения) | $f(z) = \frac{z^{n-1}}{\beta^n \Gamma(n)} e^{-\frac{z}{\beta}}$, $0 \leqslant z < \infty$ | $z_l = -\frac{1}{\lambda} \ln(x_1, \ldots, x_n)$ |

Продолжение табл. 11.3

| Распределение | Формулы | |
|---|---|---|
| | Плотности вероятности | Для вычисления случайных чисел |
| Вейбулла ($a$—масштабный параметр, $k$ — параметр, определяющий асимметрию и эксцесс) | $f(z) = Qkz^{k-1}e^{-az^k}$ $0 \leqslant z < \infty$ | $z_i = \sqrt[k]{-\frac{1}{a}\ln x_i}$ |

Пусть к диспетчеру на обслуживание поступает однородный поток операций. Каждая операция характеризуется только моментом времени $t$, в который она поступает. Как правило, $t_i$ целесообразно заменить величинами $z_i$, являющимися длинами интервалов времени между моментами поступления операций:

$$t_1 = z_1;\ t_2 = z_1 + z_2;\ t_n = z_1 + \ldots + z_n.$$

Совокупность случайных величин $z_i$ задается совместным законом распределений вероятностей.

Пусть требуется получить случайные числа с показательным законом распределения $f(z) = \lambda e^{-\lambda z}$.

Соотношение (11.1) в данном случае принимает вид

$$x_i = \lambda \int_0^{z_i} e^{-\lambda z}\, dz.$$

После вычисления интеграла получим $x_i = 1 - e^{-\lambda z_i}$.

Решая это уравнение относительно $z_i$, имеем

$$z_i = -\frac{1}{\lambda}\ln(1 - x_i). \qquad (11.2)$$

Учитывая, что случайное число $x_i = 1 - x$ имеет также равномерный закон распределения в интервале [0, 1], соотношение (11.2) можно заменить выражением

$$z_i = -\frac{1}{\lambda}\ln x_i. \qquad (11.3)$$

**Пример.** Определить моменты появления заявок, если на диспетчерский пункт поступает пуассоновский поток операций, функция плотности которого имеет вид показательного распределения

$$f(z) = \lambda e^{-\lambda z}, \qquad (11.4)$$

где $\lambda = 0{,}2$ интенсивность потока, определяющая среднее число операций, поступающих в единицу времени.

Возьмем последовательность, состоящую из пяти случайных чисел, равномерно распределенных в интервале [0,1]: 0,4; 0,9; 0,4; 0,8; 0,7. Для формирования реализаций простейшего потока необходимо построить последовательность случайных чисел $z_i$, имеющих показательное распределение (11.4) с параметром $\lambda = 0{,}2$.

В соответствии с уравнением (11.3) имеем:

$$z_1 = -\frac{1}{\lambda}\ln(0{,}4) = -\frac{1}{0{,}2}(-0{,}92) = 0{,}46;$$

$$z_2 = -\frac{1}{\lambda}\ln(0{,}9) = -5(-0{,}21) = 0{,}105;$$

$$z_3 = -\frac{1}{\lambda}\ln(0{,}4) = -5(-0{,}92) = 0{,}46;$$

$$z_4 = 0{,}116;\ z_5 = 0{,}18.$$

Последовательность моментов поступления операций $t_i^*$ будет следующей:

$$t_1^* = z_1 = 0{,}46;$$

$$t_2^* = z_1 + z_2 = 0{,}46 + 0{,}105 = 0{,}565;$$

$$t_3^* = z_1 + z_2 + z_3 = 0{,}565 + 0{,}46 = 1{,}025;$$

$$t_4^* = t_3^* + z_4 = 1{,}025 + 0{,}116 = 1{,}141;$$

$$t_5^* = t_4^* + z_5 = 1{,}141 + 0{,}18 = 1{,}321.$$

Качество выполнения диспетчером отдельных операций или актов деятельности, взятых изолированно, еще не определяет качество работы диспетчера в целом. Последняя состоит, как правило, из комплекса отдельных операций или функций, выполняемых последовательно на заданных интервалах времени и имеющих между собой сложную логико-структурную связь. Способность человека выполнять заданные последовательности операций с нужным качеством можно характеризовать специальными обобщающими критериями. При этом следует различать виды деятельности человека:

а) отдельные операции расположены строго последовательно и необходимость выполнения последующей операции не может возникнуть до окончания предыдущей;

б) задан только перечень операций, моменты времени, определяющие необходимое их начало, и моменты окончания их выполнения являются случайными.

Для первого вида деятельности основными критериями качества являются время цикла $T_{оп}$ и вероятность того, что продолжительность цикла не превысит некоторое заданное время. Для другого вида в качестве основных критериев выбирают вероятность своевременного выполнения операции $P_{св}$ и степень загрузки человека $q$.

В процессе УВД к диспетчеру поступают различные потоки операций, каждый из которых описывается определенным законом поступлений. Для простоты расчета предположим, что процесс УВД слагается из ряда однотипных в известном смысле операций. Тогда вероятность того, что время $\tau = t_{i+1} - t_i$ не превысит заданное лимитное время $t_л$, определится как:

$$B(t) = P_i(\tau_i \leqslant t_л),$$

где $i$ — номер операции в последовательности; $t_{i+1}$ — момент начала выполнения последующей операции; $t_i$ — момент начала выполнения предыдущей операции.

Определение необходимых характеристик процесса рассмотрим на примере длительности занятости радиоканала «диспетчер посадки — экипаж самолета». Интенсивность поступлений операций определяется технологией выполнения полета, состоянием воздушной обстановки, правилами и фразеологией ведения радиосвязи и т. д. Качество работы диспетчера можно оценить как вероятность своевременного выполнения операции за нормированный интервал времени $t_л$. Диспетчеру посадки предписано при заходе на посадку самолета по ПРЛ передавать экипажу информацию о его положении через каждые 2 км до пролета ДПРМ и через 1 км после пролета ДПРМ. При заданном $t_л$ вероятность выполнения операции $P_{св}$ зависит от вида закона распределения длительности выполнения операций $B(t)$.

Длительность сеанса радиообмена является случайной величиной $\tau$. Распределение длительности радиообмена описывается нормальным законом распределения, плотность которого имеет вид

$$f(\tau)=\begin{cases}0 \text{ при } \tau \leqslant 0;\\ \dfrac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp -(\tau-\bar{\tau})^2/2\sigma^2) \text{ при } \tau>0.\end{cases}$$

Зная параметры средней длительности радиообмена $\bar{\tau}$ и $\sigma$, можно определить вероятность выполнения операции $P_{св}$ за нормированное время $t_л$. Для простоты расчета допустим, что $t_л$ величина постоянная. Геометрически вероятность $P_{св}$ выражается площадью, ограниченной плотностью распределения $f(\tau)$, осью абсцисс и ординатой в точке $\tau=t_л$.

Аналитическое выражение для определения $P_{св}$ имеет вид

$$P_{св}=P(t_л)=P\{\tau \leqslant t_л\}=\int_0^{t_л} f(\tau)d\tau=\int_0^{t_л}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(\tau-\bar{\tau})^2}{2\sigma^2}}d\tau. \quad (11.5)$$

Для его вычислений пользуются таблицей функций Лапласа или интеграла вероятностей. После преобразований формулы (11.5) имеем

$$P_{св}=\left[\Phi_0\left(\frac{t_л-\bar{\tau}}{\sigma}\right)-\Phi_0\left(-\frac{\bar{\tau}}{\sigma}\right)\right]. \quad (11.6)$$

Если интервал $t_л$ — случайная величина, то вероятность $P_{св}$ вычислить довольно сложно. Расчеты упрощаются, если $\tau$ и $t_л$ подчинены нормальному распределению с параметрами $\bar{\tau}$, $\sigma_\tau$ и $\bar{t}_л$, $\sigma_t$ соответственно.

Введем новую случайную величину $\Delta t=t_л-\tau$. Поскольку $t_л$ и $\tau$ независимы, то и $\Delta t$ распределено по нормальному закону с параметрами:

$$\Delta\bar{\tau}=\bar{t}_л-\bar{\tau};\ \sigma_\Delta=\sqrt{\sigma_\tau^2+\sigma_t^2}.$$

На основании положений теории вероятностей [100]

$$P_{\text{св}} = P\{\Delta t \geqslant 0\} = \int_{-\infty}^{\frac{\Delta t}{\sigma_\Delta}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 0{,}5 + \Phi_0\left(\frac{\Delta t}{\sigma_\Delta}\right).$$

**Пример.** Определить своевременность выполнения операций диспетчером посадки на участке ДПРМ—БПРМ при заходе на посадку самолета Ил-18, если длительность выполнения операции представлена в табл. 11.4.

Если предполагается, что длительность выполнения операций является нормально распределенной случайной величиной, то, чтобы найти тот нормальный закон, по которому распределяется длительность выполнений операций, необходимо:

вычислить среднюю арифметическую и дисперсию вариационного ряда;

найденную среднюю арифметическую принять за математическое ожидание, а дисперсию вариационного ряда за дисперсию искомой величины;

составить выражение плотности и функции распределения с вычисленными параметрами;

определить теоретические частоты на основе принятого закона распределения;

вычислить величину $\chi^2$;

сформулировать вывод о соответствии опытного распределения теоретическому.

Найдем среднее арифметическое и дисперсию длительности выполнения операций данного вариационного ряда:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{l=1}^{n} \tau_l m_l}{\sum_{l=1}^{n} m_l} = \frac{316}{55} = 5{,}74;$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{l=1}^{n} (\tau_l - \bar{\tau})^2 m_l}{\sum_{l=1}^{n} m_l} = \frac{\sum_{l=1}^{n} \tau_l^2 m_l}{\sum_{l=1}^{n} m_l} - \bar{\tau}^2 = \frac{1902}{55} - 32{,}94 = 1{,}64;$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 1{,}29.$$

Результаты вспомогательных расчетов сведены в табл. 11.5.

Таблица 11.4

**Длительность выполнения операции**

| Характеристики | Длительность операции $\tau_l$, с | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2,6—3,5 | 3,6—4,5 | 4,6—5,5 | 5,6—6,5 | 6,6—7,5 | 7,6—8,5 | 8,6—9,5 |
| $\bar{\tau}$ | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $m$ | 2 | 6 | 16 | 16 | 11 | 3 | 1 — 55 |

Таблица 11.5

**Статистическая обработка результатов**

| Исходные данные | | Основные вычисления | | | | | | Вспомогательные вычисления | | Промежуточные вычисления | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\tau_i$, с | $m_i$, с | $\tau_i m_i$ | $\tau_i^2$ | $\tau_i^2 m_i$ | $\frac{\tau_i - \bar{\tau}}{\sigma}$ | $\frac{\tau - \bar{\tau}}{\sigma}$ | $\varphi(\tau)$ | $\frac{\Delta\tau_i}{\sigma}\varphi(\tau)$ | $m_i^0$ | $m_i - m_i^0$ | $(m_i - m^0)^2$ | $\frac{(m_i - m_i^0)^2}{m_i^0}$ |
| 3 | 2 | 6 | 9 | 18 | —2,74 | —2,12 | 0,042 | 0,032 | 1,76 | 0,24 | 0,0576 | 0,09 |
| 4 | 6 | 24 | 16 | 96 | —1,74 | —1,34 | 0,163 | 0,126 | 6,93 | 0,93 | 0,86 | 0,12 |
| 5 | 16 | 80 | 25 | 400 | —0,74 | —0,57 | 0,339 | 0,263 | 14,465 | 1,535 | 2,36 | 0,16 |
| 6 | 16 | 96 | 36 | 576 | 0,26 | 0,2 | 0,391 | 0,303 | 16,665 | -0,665 | 0,442 | 0,03 |
| 7 | 11 | 77 | 49 | 539 | 1,26 | 0,97 | 0,249 | 0,193 | 10,615 | 0,385 | 0,148 | 0,01 |
| 8 | 3 | 24 | 64 | 192 | 2,26 | 1,75 | 0,086 | 0,067 | 3,685 | -0,685 | 0,469 | 0,13 |
| 9 | 1 | 9 | 31 | 81 | 3,26 | 2,52 | 0,017 | 0,013 | 0,715 | 0,285 | 0,081 | 0,11 |
| | 55 | 316 | | 1902 | | | | | 54,835 | | | 0,65 |

Порядок расчета теоретических частот следующий. Используя таблицу определения $\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$ из работы [100] находим значения функций $\varphi(t)$ при значении аргументов $m_i$. При этом учитывается, что функция $\varphi(t)$ является четной. Длина интервала для всех разностей $\Delta\tau_i = (\beta_i - a_i) = 1$, а значение $m = 55$, следовательно, получаем формулу, по которой находим теоретические частоты:

$$m_i^0 = 55 \cdot 1 \frac{1}{1{,}29} \varphi(t).$$

Мера согласования между теоретическим и опытным распределением проверяется по критерию $\chi^2$. Искомая вероятность $p = 0{,}4$ при $\chi^2 = 0{,}65$ оказалась не мала. Следовательно, предположение о том, что длительность радиообмена можно описать нормальным распределением с параметрами $m_\tau = 5{,}74$ и $\sigma = 1{,}29$ справедливо.

Пусть скорость планирования самолета на прямой $V_{пл} = 290$ км/ч. Диспетчеру посадки предписано сообщить экипажу его местоположение относительно глиссады планирования на данном участке через 1 км, т. е. $t_д = \frac{1 \text{ км}}{V_{пл}} = 12{,}5$с.

Вероятность выполнения операций определим по формуле (11.6):

$$P(a < \tau < \beta) = \Phi\left(\frac{\beta - \bar{\tau}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a - \bar{\tau}}{\sigma}\right);$$

$$P(0 < \tau < 12{,}5) = \Phi\left(\frac{12{,}5 - 5{,}74}{1{,}29}\right) - \Phi\left(\frac{0 - 5{,}74}{1{,}29}\right) = 0{,}998.$$

Для определения степени загрузки диспетчера необходимо знать законы распределения времени выполнения операций, временных интервалов между началами двух последовательных операций данного типа и относительную важность операций.

Задача значительно облегчается, если на обслуживание к диспетчеру поступает простейший поток операций, который обладает свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствий. Стационарность потока состоит в том, что вероятность поступления определенного количества требований в течение определенного промежутка времени зависит только от длины промежутка. Ординарным потоком является тот, при котором невозможно одновременное появление двух или более операций. Отсутствие последствия состоит в том, что поступление операций в данный момент не зависит от того, когда и сколько их поступило до этого момента.

Если имеется простейший поток операций, то число операций за промежуток времени $(0, t)$ распределяется по закону Пуассона:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t},$$

где $P_n(t)$ — вероятность поступлений $n$ операций за время $t$; $n$ — количество операций; $\lambda$ — параметр потока, т. е. число операций, поступающих за единицу времени.

Если входящий поток операций подчиняется закону Пуассона, то функция распределения интервала времени между моментами начала двух соседних операций экспоненциальна, т. е. $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$.

Пусть на обслуживание к диспетчеру поступает простейший поток операций с экспоненциальным распределением времени $t_л$ и $\tau$, т. е.:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t};\ \lambda = \frac{1}{t_л};$$

$$B(t) = 1 - e^{-\nu t};\ \nu = \frac{1}{\tau},$$

где $t_л$ — среднее время между моментами начала двух соседних операций; $\tau$ — средняя длительность выполнения операции.

Степень загрузки диспетчера определяется как отношение математического ожидания периода непрерывной занятости к математическому ожиданию времени $t_л$, т. е.

$$q = \frac{M[T_{п.з}]}{M[t_л]}. \qquad (11.7)$$

Для принятых условий математическое ожидание периода непрерывной занятости при дисциплине обслуживания с бесконечным «ожиданием» выполнения операций (вероятность выполнения операции $P_{оп} = 1$):

$$M[T_{п.з}] = \frac{1}{\nu - \lambda}.$$

Степень загрузки диспетчера

$$q = \frac{M[T_{\text{п.з}}]}{M[t_д]} = \frac{\lambda}{\nu - \lambda}.$$

Для случая с «потерей» последующих и предыдущих операций при их наложении степень загрузки диспетчера и вероятность выполнения операций находим из выражений:

$$q = \frac{\lambda}{\nu}; \quad P_{\text{оп}} = \frac{1 - \frac{\lambda}{\nu}}{1 + \frac{\lambda}{\nu}}.$$

**Пример.** Определить степень загруженности диспетчера, если на обслуживание поступает простейший поток операций с экспоненциальным распределением $\tau$, имеющим параметры

$$\gamma = 0{,}15\ \text{с}^{-1},\ \nu = 0{,}195\ \text{с}^{-1}\ \left(t_д = \frac{1}{\lambda} = 6{,}67\ \text{с},\ \tau = \frac{1}{\nu} = 5{,}13\ \text{с}\right)$$

Наибольшая степень загруженности при отсутствии потерь операций ($P_{\text{оп}} = 1{,}0$) определяется по формуле (11.7):

$$q_{\max} = \frac{\lambda}{\nu - \lambda} = \frac{0{,}15}{0{,}195 - 0{,}15} = 3{,}33.$$

Наименьшая вероятность выполнения операций (при потере обеих операций при их наложении)

$$P_{\text{оп min}} = \frac{1 - \frac{\lambda}{\nu}}{1 + \frac{\lambda}{\nu}} = \frac{1 - 0{,}769}{1 + 0{,}769} = 0{,}131.$$

Степень загрузки

$$q = \frac{\lambda}{\nu} = 0{,}769.$$

В общем случае оптимальные соотношения критериев $q$ и $P_{\text{оп}}$ будут зависеть от вида функций $F(t)$ и $B(t)$, числа потоков операций, их приоритетности и порядка выполнения операций в случае их наложения во времени.

Фактические условия работы диспетчера непрерывно изменяются во времени и приводят к различной его загрузке. Это вызвано изменением потоков информации на диспетчерском пункте, размеров контролируемого воздушного пространства, исключением конфликтных траекторий полета самолетов, изменением технологии работы диспетчеров, правил и фразеологии радиообмена, автоматизацией процесса УВД и т. д. При $q \geqslant 0{,}2$ следует принимать меры по уменьшению загруженности диспетчера, как правило, путем автоматизации наиболее трудоемких процессов деятельности диспетчера.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите и раскройте смысл критериев оценок деятельности диспетчера.
2. В чем состоят основные отличия между алгоритмическими и статистическими методами моделирования деятельности?
3. Почему информационный поток является важнейшим элементом в проектировании деятельности?
4. В чем сущность и различие критериев загруженности и вероятности выполнения операций?

## Глава 12

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОСТЕЙШЕМ КОНТУРЕ УВД

### 12.1. Оценка загруженности диспетчера и автоматизация иформационных процессов

Основной целью автоматизации процессов УВД является получение наиболее эффективного комплекса, включающего человека-оператора (диспетчера) и технические устройства (РЛС, ЭВМ, РПУ и др.). Эффективность здесь понимается как наибольшая пропускная способность такого комплекса с учетом строгих ограничений по безопасности полетов и их регулярности. Наибольшая эффективность достигается при определенном соотношении доли операций, выполняемых оператором, и автоматизированных.

Полная формализация интеллектуальной деятельности диспетчера связана с принципиальными трудностями, т. е. со «сложностными» ограничениями, не допускающими адекватного и сколько-нибудь полного моделирования «больших» систем типа мозговых структур, психических процессов, поведенческих комплексов и языковых феноменов. Здесь чаще всего оказывается справедливым подход, когда при моделировании сложных процессов интеллектуальной деятельности диспетчера проще проводится эксперимент на натуральном объекте моделирования — комплексе, чем достигается подробное его моделирование или описание. Этим и объясняется распространенность моделирующих тренажеров с участием реального диспетчера в контуре управления.

Гибкость человеческого мышления, обобщающая способность создавать понятия, широта представлений, подвижность смыслов, выражений, языков, сложность сетей социальных влияний, мотиваций, связывающих наделенных сознанием и волей операторов в коллектив — диспетчерскую смену, приводят к невозможности формализации деятельности диспетчера с требуемой полнотой и однозначностью при помощи современных языков и алгоритмов моделирования. Здесь, по-видимому, оказывается справедливым «парадокс сложного», выдвинутый Дж. фон Нейманом в виде гипотезы о том, что существует некий «порог сложности», начиная с которого, описание и моделирование системы, если оно удовлетворяет

требованиям адекватности, не может быть существенно проще ее самой [17].

Потребности практики заставляют исследователей предлагать более или менее удачные решения проблемы соотношения доли автоматизированных и «ручных» операций в процессах непосредственного УВД.

Наиболее удачными бывают такие решения, в которых достаточно полно учитываются психологические аспекты деятельности диспетчера, эргономические его свойства как элемента простейшего контура в системе УВД.

С включением в простейший контур системы УВД человека-оператора процессы в нем приобретают специфические черты, характеризуя его личностные свойства. Вместе с тем процессы деятельности обусловливаются не только внутренними, но и внешними по отношению к человеку факторами, к которым относятся характеристики терминалов (индикаторов, дисплеев, клавиатуры и т. д.) всех технических устройств и объектов, с которыми приходится работать диспетчеру. Деятельность диспетчера здесь может быть рассмотрена в основном как совокупность процессов, связанных с информацией, поэтому основное внимание будет уделено информационным процессам. В данном случае из всех эргономических свойств диспетчера особый интерес представляют восприятие информации, получаемое через ощущения сигналов по зрительным, слуховым, осязательным каналам, а также психические процессы (внимание, память, мышление) и двигательные функции (скорость, точность, координация движения), которые непосредственно влияют на эффективность функционирования простейшего контура системы УВД. В связи с этим целесообразно при автоматизации процессов и проведении мероприятий, направленных на совершенствование системы УВД, учитывать такие пороговые характеристики человека-оператора и осуществлять оценку загруженности диспетчера в основном по процессам переработки информации.

Основу деятельности диспетчера составляют процессы приема, переработки и передачи информации, образующие в своем единстве процесс управления состоянием динамической воздушной обстановки. Автоматизация процессов УВД, учитывая чрезвычайную важность информационных процессов практически во всех странах и во всех вариантах АС УВД, начиналась с автоматизации информационных процессов. Так, например, при автоматизации процессов в первых отечественных отраслевых системах «Центр-1», «Район-1» диспетчеру представлялась информация о воздушной обстановке в сопряженных секторах УВД.

Из анализа деятельности диспетчера в случае отсутствия автоматизации информационных процессов вытекает, что практически 70% его рабочего времени занимают радиотелефонные переговоры и почти половина объема затрачиваемых и передаваемых сообщений составляют сведения о высоте и курсе полета летательного аппарата, а также пролета пунктов обязательных донесений (ПОД). Внедрение вторичной радиолокации с самолетными ответчиками

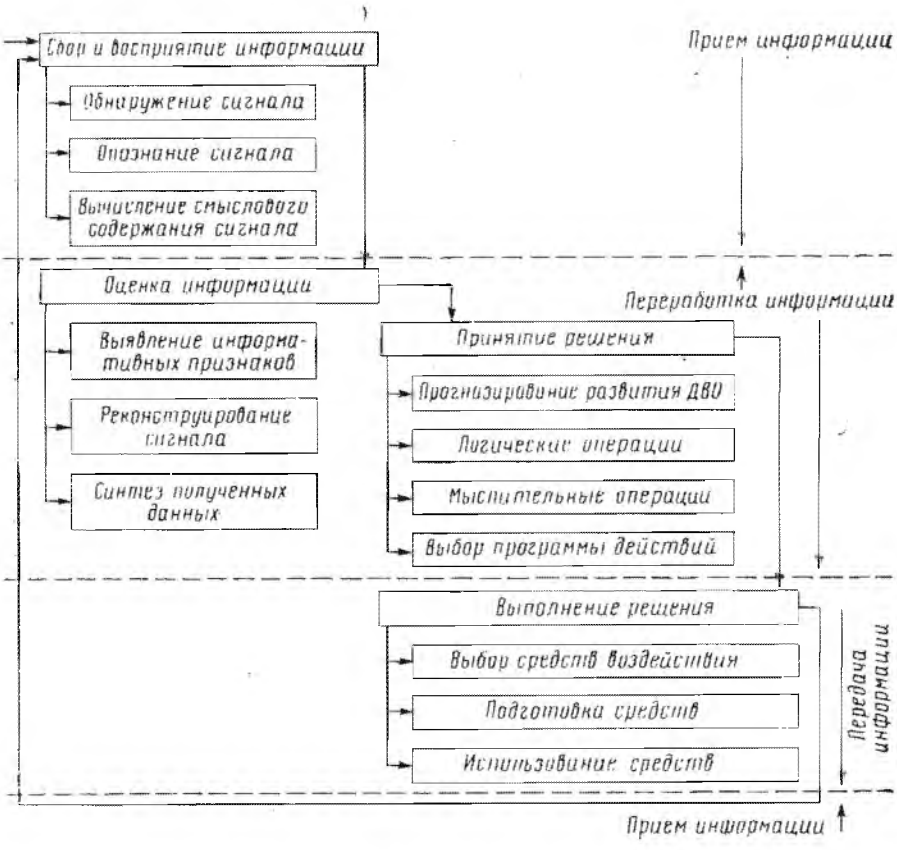



Рис. 12.1. Структура информационных процессов деятельности диспетчера

значительно снижает характеристики загруженности диспетчеров, что и реализовано в отечественной АС УВД «Старт».

Процесс управления состоянием динамической воздушной обстановки содержит решение ряда задач и операций, образующих в своей основе структуру информационных процессов (рис. 12.1). В реальной работе диспетчера перечисленные задачи и операции не всегда могут быть представлены со всей полнотой. Они могут быть сдвинуты относительно друг друга и выполняться в совокупности. Например, временные затраты диспетчера на решение таких задач и операций не выражаются суммируемыми аддитивными функциями: время, затраченное на выполнение двух операций поочередно, не равно в сумме времени на их выполнение в совокупности.

Деятельность диспетчера по решению таких задач и операций зависит от многих факторов, среди которых в первую очередь следует назвать профессиональную подготовленность диспетчера (знания, умения, навыки, опыт работы), уровень организации УВД в данной зоне (структуру траекторий полета летательных аппаратов,

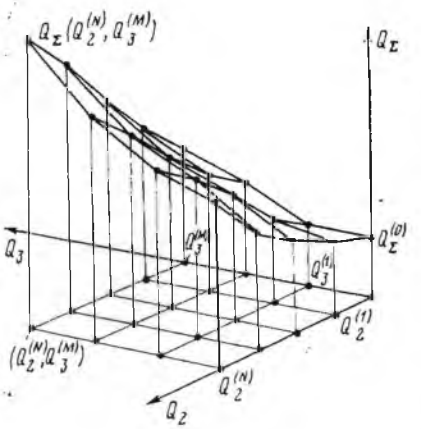



Рис. 12.2. Поверхность оценок нагруженности диспетчера

степень покрытия зоны радиолокационным контролем, число ПОД и т. д.), качество планов полета (равномерность нагрузки зоны за смену, отсутствие конфликтных планов и т. д.), степень технической оснащенности и уровень эргономического обеспечения рабочего места диспетчера и др. Таким образом, загруженность диспетчера характеризуется его затратами на решение задач и выполнение операций, относящихся к информационным процессам приема, переработки и передачи информации, и зависит от перечисленных внешних факторов, профессиональной подготовленности диспетчера и его психофизиологического состояния.

Если ввести обозначение затрат в виде суммарного времени занятости диспетчера на определенном промежутке времени, то наиболее полное и общее значение оценки загруженности

$$Q_\Sigma = (Q_1, \ldots, Q_n)',$$

где $Q_1$ — уровень профессиональной подготовки; $Q_2$ — уровень организации УВД и т. д.; $n$ — число учитываемых факторов; $Q_n$ — психофизиологическое состояние диспетчера.

Простейшим примером такой векторной оценки загруженности диспетчера может служить двумерный случай, когда в качестве одной из компонент вектора загруженности берется уровень организации УВД в данной зоне $Q_2$, а в качестве другой — нарастающая ситуационная сложность воздушной обстановки при непосредственном УВД $Q_3$ (наличие метеоявлений, усложняющих процесс УВД, особых случаев, конфликтных ситуаций и т. д.). Тогда количественные значения загруженности, отсчитываемые по третьей оси $Q_3$, могут быть представлены точками на некоторой геометрической поверхности с нарастающими по мере движения вдоль оси $Q_2$ усложнениями организации управления воздушным движением (увеличения числа трасс, точек их пересечения либо схождения, наличия зон отсутствия радиолокационного контроля и т. д.). Аналогично по мере движения вдоль оси $Q_3$ нарастает ситуационная сложность ДВО (рис. 12.2). Для серьезного исследования загруженности следует учитывать и другие важнейшие компоненты, начиная от уровня профессиональной подготовки $Q_1$ и до психофизиологического состояния диспетчера $Q_n$. В этом случае загруженность будет характеризоваться точками $n$-мерной поверхности, общие свойства которой (по крайней мере точки кратных значений $\sup Q_\Sigma$ и $\inf Q_\Sigma$) будут, видимо, аналогичны приведенным на рис. 12.2.

На практике оперировать подобными векторными величинами не всегда удобно, так как формализация их с помощью алгебраических выражений неоднозначна. Поэтому при проведении исследовательских изысканий и глубоких аналитических работ целесообразно рассматривать загруженность диспетчера в виде векторной величины. При оценочных расчетах, проводимых в службе движения при определении требуемого рационального числа диспетчеров в данной зоне УВД, допустимы приближенные подходы к определению загруженности диспетчера. В этом состоит идея приближенного способа оценки загруженности диспетчера с помощью упрощенной количественной оценки допустимой рабочей нагрузки диспетчера, в качестве которой принимают какую-либо измеримую, т. е. поддающуюся непосредственному либо опосредованному учету функцию диспетчера. Наиболее часто в качестве такой функции принимают временные затраты диспетчера на выполнение информационных процессов, хотя существуют и модели рабочей нагрузки диспетчера, базирующиеся на измерениях частоты пульса, кровяного давления и других физиологических анализов, а также модели и методы, использующие результаты непосредственного опроса диспетчеров по специально разработанным схемам для выявления эмпирических данных о рабочей их нагрузке.

При оценке загруженности диспетчера опираются еще и на количество летательных аппаратов, находящихся под управлением диспетчера, считая его основным количественным параметром [218—221]. Практически каждый из таких приближенных методов определения рабочей нагрузки диспетчера содержит обычно целый ряд недостатков, затрудняющих их использование из-за значительной трудоемкости и трудности оценок либо сводящих результативность к малоэффективным оценкам вследствие большого числа неучтенных факторов, трудности описания и учета взаимовлияния факторов. Одним из наиболее удачных вариантов приближенной оценки загруженности диспетчера считается вариант, в котором в качестве загруженности учитывается скалярная оценка вектора $Q_{\Sigma}$, взятая в виде взвешенной суммы временных затрат диспетчера на выполнение определенных операций с учетом не только фактического их числа, но и важности. Основным допущением, определяющим здесь степень приближенности, является выбор формализации вектора $Q_{\Sigma}$ в виде взвешенной суммы, что не оправдано по отношению к неаддитивным функциям — временным затратам. С целью повышения точности и расширения границ применимости данного варианта вводятся переменные коэффициенты веса, при умножении на которые временные затраты диспетчера приобретают иные свойства в различных ситуациях.

Для реализации данного варианта выделяют ряд наиболее характерных операций, выполняемых диспетчерами различных диспетчерских пунктов. К ним относятся: визуальное наблюдение с помощью индикатора или без него; слуховое восприятие информации, считывание — восприятие информации из письменных, печатных материалов или представляемых с помощью электронных табло;

запись и другие операции, выполняемые диспетчером до заключительной, которая условно названа операцией выбора или принятия решения. Время, затраченное диспетчерами диспетчерских пунктов различного типа при непосредственном УВД, может быть найдено путем учета и статистической обработки времени выполнения именно тех операций, которые характерны для данного пункта. При этом оценки пооперационных затрат могут быть найдены путем обработки результатов хронометрирования деятельности диспетчеров определенного (обычно низшего класса III) класса в стандартных условиях непосредственного УВД со стандартным техническим оборудованием.

Далее путем экспертного опроса находят и вводят коэффициенты веса $\omega_i$, учитывающие влияние уровня профессиональной подготовки диспетчеров, сложность организации УВД, ситуационную сложность и другие факторы.

Значение сложности организации УВД и качества планирования могут быть учтены и с помощью временных оценок путем введения расчетного (прогнозируемого для данной зоны) числа потенциальных конфликтных ситуаций и требуемого времени для их анализа. Количественная оценка загруженности диспетчера

$$Q_{\Sigma} \cong \sum_{l=1}^{n} \omega_l (Q_j) \tau_l,$$

где $\tau_i$ — относительные пооперационные затраты $\left(\tau_i = \frac{\tau_{\text{раб}}^{(l)}}{T_{\text{набл}}}\right)$;

$T_{\text{набл}}$ — период наблюдения (1 ч, либо рабочая смена, либо $k$ смен и т. д.); $\tau_{\text{раб}}^{(l)}$ — время выполнения операций $l$-го типа; $\omega_i = \omega_i(Q_j)$ — коэффициенты веса, учитывающие уровень профессиональной подготовки диспетчера, ситуационную сложность УВД, степень технической оснащенности данного пункта и др. факторы.

Сложность такой приближенной скалярной оценки $Q_{\Sigma}$ заключается в правильном расчете таблиц коэффициентов веса $\omega_i$ для всех рассматриваемых факторов $Q_j$.

Полученная приближенная оценка загруженности диспетчера $Q_{\Sigma}$ может быть использована для прогнозирования и обоснования необходимости внедрения технических средств определенного вида на каждый из диспетчерских пунктов и особенно для обоснования определенной очередности автоматизации процессов УВД и внедрения АС УВД в определенной зоне. Одним из наиболее эффективных способов применения оценки $Q_{\Sigma}$ следует считать возможность объективного количественного анализа результатов внедрения тех или иных технических средств. Если такое внедрение снижает на определенную величину загруженность (после истечения периода адаптации диспетчера к новому техническому средству), то его следует считать рациональным, в противном случае — нет. При этом необходимо установить пороговое значение $\Delta Q_z$ такого количественного анализа из-за точностных соображений. Аналогич-

ным образом с помощью $Q_\Sigma$ можно оценить прогнозируемую эффективность внедрения автоматизации не только процессов непосредственного УВД, но и процессов планирования воздушного движения, а также организации УВД.

**Контрольные вопросы**

1. В чем состоит принципиальное затруднение, возникающее при помощи исследования деятельности диспетчера?
2. Поясните природу взаимосвязи оценки загруженности диспетчера и автоматизации процессов УВД.
3. Какие процессы составляют основу деятельности диспетчера? Приведите блок-схему структуры информационных процессов при УВД.
4. Дайте общее описание и характеристику наиболее общей оценки загруженности диспетчера и поясните ее сущность с помощью примера.
5. В чем состоит сущность приближенных способов оценки загруженности диспетчера?
6. Приведите пример и основные зависимости одного из вариантов приближенной скалярной оценки загруженности диспетчера.
7. Перечислите области использования оценки загруженности диспетчера и поясните основной смысл каждой из них.

## 12.2. Учет психологических особенностей деятельности и функционального состояния диспетчера

Один из наиболее актуальных при исследовании деятельности диспетчера разделов психологии посвящен изучению особой области материальной действительности, к которой относятся ощущения, восприятия, мысли, чувства, стремления и др. Подобная совокупность психических явлений называется обычно психикой. Психика не существует сама по себе, она связана с высшими формами жизни человека и поэтому служит определяющим звеном в исследовании его трудовой деятельности.

Все разнообразие психических явлений классифицируется на познавательную, эмоциональную и волевую области.

К познавательным явлениям относятся ощущения, восприятия, память, воображение, мышление и речь. Ощущения — это отражение отдельных свойств предметов, действующих в данный момент на органы чувств человека: зрение, слух, осязание и др. Сенсорные компоненты (компоненты ощущения) в чистом виде у диспетчера почти не появляются, за исключением периода настройки аппаратуры, приема информации — яркости и контрастности изображения на ИКО, громкости и тембра радиосообщений. Сенсорный процесс у диспетчера неразрывно связан с процессом опознавания объектов управления как единого целого, т.е. процессом восприятия, в состав которого и входят ощущения. Процесс восприятия в УВД играет большое значение. Диспетчер должен воспринять летательные аппараты не только в виде отметок на экране локатора, но и как динамические объекты со всей совокупностью их характеристик, включая параметры движения, а также элементы окружающей среды, т.е. воспринимать всю совокупность

пространственно-временных характеристик среды и объектов управления в виде динамической воздушной обстановки в зоне управления.

Своеобразной задачей восприятия является пространственная оценка взаиморасположения летательных аппаратов на установленных безопасных интервалах. Восприятие у диспетчера происходит с помощью зрительного и слухового анализаторов, которые должны характеризоваться сравнительно низкими порогами чувствительности, высокой устойчивостью по отношению к воздействиям помех, а также малой утомляемостью и скоростью восприятия.

Восприятие в процессе деятельности диспетчера неразрывно связано с его ответной реакцией, которая осуществляется в сенсоречевой форме. Эта реакция является более сложной, чем простая сенсомоторная реакция. В этом случае выделяют так называемое латентное (скрытое) время ответной реакции, которое свидетельствует о сложных явлениях, характеризуемых временем реагирования на поступивший сигнал. Большое влияние на качество восприятия оказывает приобретенный навык по восприятию воздушной обстановки,а также такие психические функции, как память, воображение, внимание.

Современный кибернетический подход к явлению памяти позволяет определить ее как запоминание, хранение и воспроизведение информации. Память в деятельности диспетчера проявляется в двух ее основных формах: оперативная и долговременная.

Оперативная память используется для сохранения вновь воспринятой информации в течение относительно короткого периода времени или для того, чтобы вызвать в сознании некоторую часть информации, хранящуюся в долговременной памяти.

Динамичность процесса УВД предъявляет особые требования к оперативной памяти диспетчера. Она должна быть прочна и объемна для сохранения обширной и быстроизменяющейся информации, иметь фильтрующие свойства для отсева использованной или ненужной информации и, наконец, быть готовой к воспроизведению нужной информации в любой требуемый момент времени.

Долговременная память — это запоминание на длительное время, необходимое для повседневной и систематической деятельности. Быстрое запоминание диспетчером информации о параметрах движения летательных аппаратов, воздушной и метеорологической обстановки, воспроизведение этой информации для решения оперативных задач основано на функционировании оперативной памяти. Долговременная память служит для запоминания, хранения и периодического воспроизведения диспетчером различного рода сведений, относящихся к параметрам зоны управления, техническому оснащению летательных аппаратов и аэропортов, программам действия в аварийной обстановке и т. д.

Воображение занимает особое место в деятельности диспетчера. С одной стороны, оно позволяет ему на основе разносторонней информации создать единый сложный пространственно-временной

динамический образ воздушной обстановки (концептуальная модель), адекватный реально существующему, а с другой — оперировать представлениями образа, прогнозируя, т.е. предугадывая, возможную будущую обстановку. Умение экстраполировать движение летательных аппаратов, а не просто обладать пространственным воображением, необходимо диспетчеру. При этом в зависимости от характеристик воздушной обстановки порой требуется быстрая избирательная экстраполяция по ограниченному числу параметров, от которой будет зависеть благополучный исход маневра летательных аппаратов, например по векторам скорости или временным моментам. Полное воссоздание пространственно-временной ДВО во всей зоне УВД в этот период лишь увеличило бы латентное время реакции диспетчера.

Процессы восприятия и запоминания информации сами по себе еще не могут обеспечить решение ни одной из стоящих перед диспетчером задач по непосредственному УВД. Все, что отражается в восприятиях и представлениях,— сравнивается, анализируется и обобщается посредством мышления. В процессе мышления диспетчер выявляет и оценивает взаимосвязи между элементами воздушной обстановки, прогнозирует ее развитие с учетом ограничений, выбирает или разрабатывает алгоритм (программу) действий в сложившейся ситуации, т.е. принимает решение о необходимости воздействия. Различают различные виды мышления.

Оперативным мышлением обычно называют мышление в процессе непосредственного решения практических задач в реальном масштабе времени, т.е. в течение ограниченного периода. В результате оперативного мышления формируется модель предполагаемой совокупности действий (алгоритма, программы операций), обеспечивающих достижение поставленной цели по УВД. Основной частью оперативного мышления является структурирование, которое проявляется в образовании более крупных единиц действия на основе связывания элементов ситуации между собой, соотнесение их с принятыми в системе УВД стандартами и ограничениями и формирование на этой основе плана решения задачи.

Особенности оперативного мышления состоят еще и в том, что решение задач по своему виду подразделяется в первом приближении на алгоритмическое и эвристическое. Порой эту классификацию полностью применяют к характеристике деятельности диспетчера. С этих позиций деятельность диспетчера службы движения может характеризоваться как алгоритмическая ввиду наличия различного рода предписаний по решению типовых задач УВД. Однако в процессе работы у диспетчера может сложиться такая обстановка, которая не имеет предписанных решений и не встречалась ему ранее. В этом случае диспетчер сам должен разработать и сформулировать новую программу действий для достижения поставленной цели. Такое программирование называют обычно эвристической деятельностью. Кроме того, выбор потребного предписанного алгоритма из множества возможных для данной ситуации (а это присуще деятельности диспетчера) имеет эвристический характер.

Все указанные выше психические процессы происходят при наличии такого важного для диспетчера компонента, как внимание. Из различных качеств, характеризующих внимание диспетчера, основными являются: концентрация, устойчивость, объем, переключение и распределение.

Концентрация внимания у диспетчера — это сосредоточение его на строго определенном круге элементов или объектов управления. Существуют различные степени концентрации внимания от полной поглощенности человека своей деятельностью, до так называемой рассеянности. Рассеянность для диспетчера недопустима. В зависимости от того, какому летательному аппарату отдается приоритет в тот или иной отрезок времени, меняется и степень концентрации внимания между объектами управления. В данном случае для диспетчера важна оценка значимости происходящих процессов.

Как установлено, практическую ценность представляет собой исследование перехода внимания диспетчера с одного объекта на другой, что называют переключением внимания. Необходимость переключения внимания обусловливается ограниченностью объема внимания человека. Это свойство важно не столько само по себе, сколько как качество, обеспечивающее возможность быстрого и глубокого понимания совокупности частей как единого целого, т.е. оно определяется количеством объектов или элементов, которые могут быть восприняты в один момент. Расширение объема внимания может быть достигнуто путем совершенствования терминалов РТС УВД, например, за счет упорядочения средств отображения информации и алфавита (вида, формы и др.) поступающей информации, что ведет к увеличению скорости восприятия информации и переработки ее диспетчером.

Переключение внимания у диспетчера происходит непрерывно. Это переключение может быть ситуативным, т.е. определяется последовательностью внешних воздействий (вход в зону нового летательного аппарата, резкое изменение метеоусловий и т. д.), но может подчиняться и «внутренней» программе диспетчера, т.е. происходить по принятой или выработанной им схеме. Здесь переключение внимания связано с этапностью полета летательного аппарата или очередностью задач, решаемых диспетчером в конкретной сложившейся обстановке. В этом случае у подготовленного диспетчера внимание переключается с некоторым упреждением, которое учитывает время на прохождение информации от диспетчера до экипажа и ответную реакцию последнего, а также и маневренность летательного аппарата. Особенно это проявляется при работе диспетчера посадки, когда он заводит летательный аппарат по посадочному локатору, управляя его движением по курсу и глиссаде, добиваясь при этом полета по заданной траектории.

Не менее важным в деятельности диспетчера является его способность сосредоточивать свое внимание одновременно на нескольких объектах или нескольких видах деятельности, т.е. рационально распределять свое внимание. Он должен: уметь одновременно

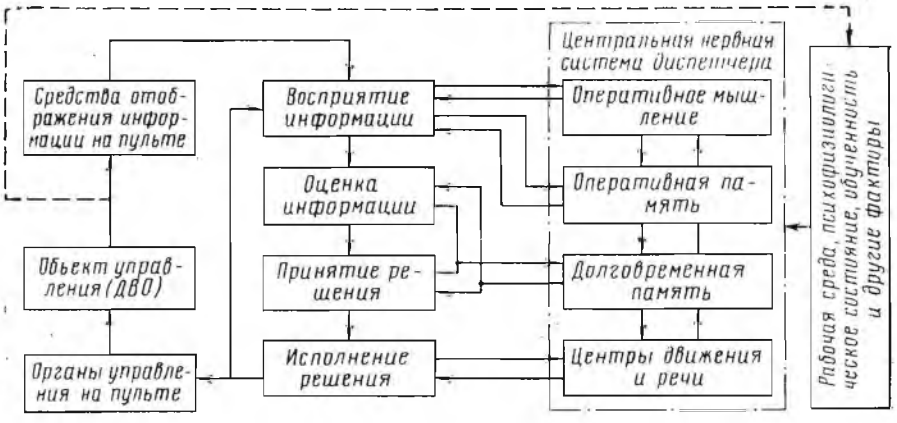



Рис. 12.3. Типовая схема взаимосвязи информационных и психических процессов в деятельности диспетчера

видеть два летательных аппарата, если они следуют на одной высоте с пересекающимися курсами, одновременно воспринимать различную по своему характеру информацию (зрительную и слуховую), прослушивать радиообмен смежного диспетчерского пункта и вести свой с экипажем летательного аппарата в своей зоне управления и т.д.

Длительную концентрацию внимания на определенном объекте управления или виде деятельности называют устойчивостью внимания.

Устойчивость внимания должна проявляться в период всего цикла обслуживания летательного аппарата или решения задачи по УВД. Она должна также сохраняться в течение всего периода работы диспетчера. В случае потери устойчивости внимания необходима смена деятельности или кратковременный отдых.

Все перечисленные выше компоненты психической деятельности диспетчера тесно взаимосвязаны с процессом переработки информации. Эта взаимосвязь имеет определенную структуру, которая выражается, как правило, в осуществлении последовательных операций при решении конкретных задач по УВД (рис. 12.3). Последовательность этой взаимосвязи должна учитываться при автоматизации процессов УВД, а также составлении технологии работы диспетчера.

Такие психические процессы, как ощущение, восприятие, представление, память, мышление, в силу различного рода обстоятельств и в первую очередь от функционального и эмоционального состояния претерпевают определенные изменения, от которых в конечном итоге и зависит эффективность труда диспетчера. Анализ деятельности диспетчера свидетельствует о том, что изменение его функций и свойств зависит от функционального и эмоционального состояния.

Под функциональным состоянием диспетчера понимаются обычно характеристики его функций и свойств, которые прямо или косвенно обусловливают выполнение им трудовой деятельности, т. е. из всех функций диспетчера выделяются те, которые сказываются на качестве деятельности.

Если рассматривать изменение функционального состояния организма диспетчера во время работы, то можно обнаружить, что оно проходит несколько фаз изменения работоспособности. Различают четыре фазы изменения работоспособности. Параметры таких фаз являются статистическими и находятся обычно путем обработки результатов наблюдения.

Первая фаза — фаза врабатываемости. В период этой фазы происходит перестройка в органах человека и он приспосабливается к текущей производственной деятельности. В этот период постепенно улучшается процесс восприятия, возрастает скорость ответных реакций, уменьшается число ошибок в деятельности, устанавливается на новом уровне функционирования система дыхания и кровообращения. На этой фазе возможны отвлечения внимания диспетчера и для сосредоточения его требуются волевые усилия. Качество работы диспетчера на первой фазе довольно низкое. Длительность первой фазы зависит от многих факторов, основными из которых являются такие, как подготовленность диспетчера, эргономичность терминов РТС УВД, уровень организации УВД в данной зоне и т. д.

Вторая фаза — фаза устойчивой работоспособности. Для этой фазы характерно непроизвольное внимание. Частота отвлечений значительно сокращается и для сосредоточения внимания не требуется значительных волевых усилий. Здесь происходят мобилизация организма и повышение тонуса центральной нервной системы. Организм человека вырабатывает наилучшее соответствие своих реакций требуемым условиям. Работа диспетчера в этот период характеризуется наивысшей эффективностью и надежностью. Такое состояние в процессе работы может продолжаться несколько часов, длительность его также зависит от многих факторов, таких, как физиологические особенности данного диспетчера и др.

Третья фаза — фаза утомления. Она обусловливается падением работоспособности. Утомление представляет собой закономерную реакцию организма на работу. В процессе утомления внимание рассеивается, затрудняется переключение и распределение внимания, увеличивается латентный период сенсоречевых реакций. При утомлении ослабляется память, снижается продуктивность мышления. На развитие утомления влияет не только абсолютная величина нагрузки в виде, например, числа операций и задач, решаемых диспетчером, но и ее интенсивность (распределение нагрузки во времени), а также ритмичность нагрузки. В этой фазе происходит ухудшение функционального состояния организма. В процессе работы появляется большое количество ошибок, эффективность труда понижается. При длительной работе диспетчера в этой фазе она может закончиться срывом.

Фаза срыва. Здесь наблюдаются значительное расстройство регулирующих механизмов человека, ярко выраженная неадекватность реакций организма на сигналы внешней среды, резкое падение работоспособности вплоть до невозможности продолжения работы. Обострение нервно-психического напряжения в этот период приводит к так называемому стрессовому состоянию.

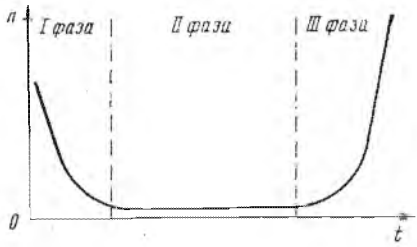


Рис. 12.4. Чередование фаз функционального состояния в деятельности диспетчера ($n$ — число допускаемых ошибок)

Под стрессом обычно понимается вид психической напряженности, возникающей у диспетчера в условиях деятельности, связанной с большими умственными нагрузками, с необходимостью быстрого отыскания решений, помехами, неудачами, реальной опасностью, повышенной ответственностью за выполняемую работу. Ситуация стресса носит, как правило, эмоционально-отрицательный характер, вызывая переживание чувства напряженности, сопровождаемого сильным возбуждением. Стресс создается факторами, носящими характер угрозы, трудности или помехи. Проблема стресса весьма актуальна. Это состояние оказывает сильное влияние на поведение и работоспособность диспетчера. В целом отрицательные явления, наблюдаемые при стрессе, выражаются в общей дезорганизованности поведения, пропуске отдельных сообщений, операций, провалах памяти, в чувстве растерянности, невозможности сосредоточиться на выполняемой деятельности. Работа диспечетра в этой фазе недопустима.

Схематично чередование фаз функционального состояния диспетчера в процессе его деятельности в виде зависимости числа допускаемых ошибок $n$ от продолжительности работы $t$ представлено на рис. 12.4.

Многолетние исследования деятельности диспетчера в различных пунктах и различных странах показывают, что любая фаза деятельности диспетчера (особенно четвертая) всегда в той или иной мере связана с развитием эмоциональных состояний.

В общем случае под эмоциональными состояниями понимают состояния, выраженные переживанием человека, его отношением к внешнему миру и к самому себе.

Различные особенности эмоциональных реакций, такие, как легкость их возникновения, сила и продолжительность, зависят от ряда причин, к которым относятся: социальные условия, связанные с образом жизни и воспитанием человека; внутренняя структура человека — его эмоциональная возбудимость, волевые качества, эмоциональная устойчивость и т. д.; факторы внешней производственной среды — опасность, неожиданность, сложность ситуации и т. д.

Выделяется несколько эмоциональных состояний, которые могут влиять на качество деятельности диспетчера. Этими состояниями являются: эмоциональное возбуждение, эмоциональное напряжение, эмоциональная напряженность.

Эмоциональное возбуждение — состояние, характеризуемое активизацией функций организма, повышением готовности к различным неожиданным воздействиям, но преимущественно вне связи с какими-либо целенаправленными волевыми актами.

Эмоциональное напряжение — это состояние, характеризуемое мобилизацией различных функций организма для наиболее успешного выполнения (подготовки) той или иной целенаправленной деятельности и связанное с волевым актом, направленным на эту деятельность.

Под напряженностью понимается эмоциональное состояние, характеризующееся временным снижением устойчивости различных психических функций (памяти, внимания), координации движений и работоспособности. Характерным признаком для диспетчера в этом состоянии являются повышенный тембр и скорость речи в период радиообмена с экипажами летательных аппаратов или абонентами смежных диспетчерских пунктов. В целом отрицательные влияния эмоциональной напряженности выражаются в торможении прежних навыков, в увеличении количества ошибок и пропуске отдельных операций, снижении общей работоспособности.

В связи с вероятностью возникновения в процессе УВД экстремальных ситуаций, вызывающих повышенную эмоциональную напряженность диспетчера, встает вопрос о требованиях к его эмоционально-волевой сфере.

Составной частью этих требований будет являться эмоциональная устойчивость.

Под эмоциональной устойчивостью (устойчивостью к стрессу) обычно понимается индивидуальная способность человека переносить большие психические нагрузки, определяемая как личностными факторами (направленностью, мотивацией и т. п.), так и особенностями нервной системы и эмоциональной реактивностью человека.

Подготовка диспетчера к действиям в процессе непосредственного УВД в современных условиях неразрывно связана с формированием у него эмоциональной устойчивости. Накоплению эмоционально-волевого опыта поведения как одному из важнейших направлений ее формирования способствует создание в процессе обучения диспетчера ситуаций, которые бы по своей модели были близки к реальным.

**Контрольные вопросы**

1. Какие области психических явлений необходимо учитывать при исследовании деятельности диспетчера?
2. Приведите основные моменты взаимодействия информационных и психических процессов в деятельности диспетчера.
3. Дайте краткую характеристику процесса мышления диспетчера при непосредственном УВД.

4. Поясните роль функционального и эмоционального состояния в процессе деятельности диспетчера.

5. Приведите схему чередования фаз функционального состояния диспетчера в процессе его деятельности.

6. Что понимается обычно под эмоциональной устойчивостью диспетчера?

## 12.3. Организация рабочего места диспетчера при автоматизации информационных процессов

При автоматизации информационных процессов, обеспечивающих высокое качество функционирования диспетчера в простейшем контуре системы УВД, особое место занимает организация рабочего места диспетчера. Она предполагает создание наиболее благоприятных условий труда, устранение потерь рабочего времени из-за нерационального размещения нового и традиционного оборудования, снижения нервно-психологической нагрузки на диспетчера, а также оптимальное распределение функций между человеком и техникой, обеспечивающих максимальную эффективность и надежность деятельности диспетчера при непосредственном УВД.

В общем случае под рабочим местом диспетчера понимается ограниченная зона производственной площади, предназначенная для выполнения определенного круга операций по непосредственному УВД одним диспетчером или группой, включающей оператора и помощника диспетчера, и оснащенная необходимыми материально-техническими средствами труда, к которым относятся основное, вспомогательное оборудование и оснастка рабочего места.

1. Основное оборудование должно соответствовать выполняемым на рабочем месте технологическим операциям и содержанию труда диспетчера. К нему относятся: выносные индикаторы радиолокационных станций и радиопеленгаторов и органы управления ими; аппаратура и органы управления радиостанций, по которым осуществляется связь с экипажами воздушных судов; аппаратура телефонной и внутренней громкоговорящей связи; диспетчерский график или табло-эшелонатор; часы.

2. Вспомогательное оборудование необходимо для обеспечения и ускорения выполнения основных функциональных операций. К нему относятся: схемы маршрутов полетов летательных аппаратов в зоне управления; справочные таблицы расчета элементов полета летательного аппарата или расчетчики; выписка из планов полетов на сутки; планшеты для записи оперативной информации.

3. Организационная оснастка рабочего места: диспетчерские линейки, карандаши, журналы замечаний по работе радиотехнических средств, приема и сдачи дежурства и др.

Таким образом, под оснащением рабочего места диспетчера понимается вся совокупность находящегося в зоне основного и вспомогательного оборудования, организационной оснастки, элементов техники безопасности. Правильно организовать рабочее место диспетчера—это значит рационально расположить оборудование оснастку, экономично использовать производственную площадь, соз-

дать благоприятные условия труда. Особую роль такая организация играет при внедрении на рабочем месте диспетчера новых терминалов технических средств с целью автоматизации его труда.

Факторы, определяющие характер трудовой обстановки на рабочем месте, могут быть объединены в три основные группы.

Первая группа факторов относится к планированию рабочего места и его технической оснащенности. От влияния этих факторов зависят в основном физическая нагрузка, темп и монотонность работы, рабочая поза диспетчера. Понятно, что все это влияет на утомляемость диспетчера.

Вторая группа факторов обусловливается санитарно-гигиеническим состоянием окружающей среды (условия) — освещенность производственный шум, вибрация, микроклимат на рабочем месте (температура, влажность, скорость движения воздуха).

В третью группу входят эстетические факторы и свойства: цветовое решение предметов оснащения, рациональность и красота их форм и компоновка в рабочей зоне. Сюда же относится поддержание порядка на рабочем месте. Каждый из этих факторов в той или иной степени эмоционально воздействует на диспетчера, вызывая определенную положительную или отрицательную реакцию. Последние две группы факторов можно объединить общим понятием факторов внешней среды на рабочем месте диспетчера.

Таким образом, под организацией рабочего места следует понимать систему мероприятий, направленных на достижение высокой надежности и производительности труда при наиболее полном использовании технических возможностей оборудования, снижение вредного влияния факторов, вызывающих напряженность и утомление человека.

Главным функциональным элементом рабочего места являются панели, на которых размещаются средства отображения информации и органы управления. Все это в своем единстве образует пульт управления диспетчера. Исходя из технологического процесса УВД и технических средств панели пульта подразделяются на зоны: наблюдения; оперативной коммутации; акустических устройств; справочной информации.

Несмотря на то, что диспетчерские пункты службы движения оснащаются выпускаемыми серийно промышленностью пультами управления, размещение на их панелях рабочих зон и компоновка в них основного и вспомогательного оборудования осуществляется зачастую на местах, в аэропортах гражданской авиации.

Одной из прямых функций руководящего состава службы движения является осуществление мероприятий по рациональной организации рабочего места диспетчера. Понятно, что неоценимую услугу в проводимой работе окажут эргономические рекомендации в данной области. Основные из этих рекомендаций сводятся к следующему.

Исходным в компоновке рабочего места диспетчера должен быть учет технологического процесса управления воздушным движением с использованием психологических факторов, в том числе

логической последовательности выполняемых операций, привычных ассоциативных движений. В первую очередь при размещении на панелях нужно отдавать предпочтение индикаторам и органам управления.

Выбор места их размещения зависит также от функциональных требований: расстояния, угла зрения, освещенности, наличия других вспомогательных средств.

Индикаторы следует располагать таким образом, чтобы обеспечивать оптимальные значения параметров зрительного поиска. Как правило, их размещают последовательно в пределах групп так, чтобы можно было наблюдать за приборами слева направо или сверху вниз. Лицевые поверхности индикаторов следует располагать в плоскости, перпендикулярной к нормальной линии взора. Отклонение от этой плоскости допускается не более чем на 45° Наиболее важные индикаторы размещают в зоне наилучшего восприятия зрительных сигналов в пределах до 15° от нормальной линии взора. Минимальное расстояние наблюдения индикаторов, за исключением индикаторов на ЭЛТ, должно составлять 30 см, рекомендуемое—50 см, а индикаторов радиолокационной информации на ЭЛТ—40 см.

В общем случае расстояние от глаза диспетчера до рассматриваемой поверхности

$$l = \frac{S}{2 \operatorname{tg} \alpha 2},$$

где $l$ — расстояние до индикатора; $S$ — размер индикатора; $\alpha$ — угол обзора.

Органы управления радиостанцией, наборные поля табло эшелонатора и РЛС с вторичного радиолокатора (ВРЛ) должны устанавливаться так, чтобы каждый из них выделялся и был удобен при использовании. При этом учитываются оптимальные размеры моторного поля человека, величина, форма и направление движения органов управления (тумблеров). Оптимальное рабочее пространство расположено в секторе 90° от диспетчера и на расстоянии до 340 мм, зона легкой досягаемости—в секторе 180° по фронту и на расстоянии до 600 мм. Зона максимальной досягаемости лежит в пределах 700 мм, с сектором охвата до 270°. Взаимное расположение индикаторов и органов управления выбирается таким образом, чтобы диспетчер при обращении к органам управления не загораживал индикаторных устройств.

Все элементы на пульте должны компоноваться свободно, без скученности.

Для диспетчерских пунктов УВД, таких, как «Старт» и «Руление», в ночное время требуется контроль за ограничением светового излучения и отражений света. Во всех случаях рекомендуется низкое расположение рассеивающих источников света с наличием защитных козырьков с таким расчетом, чтобы на индикаторах не отражалось лицо и светлая одежда диспетчера. В оснастке рабо-

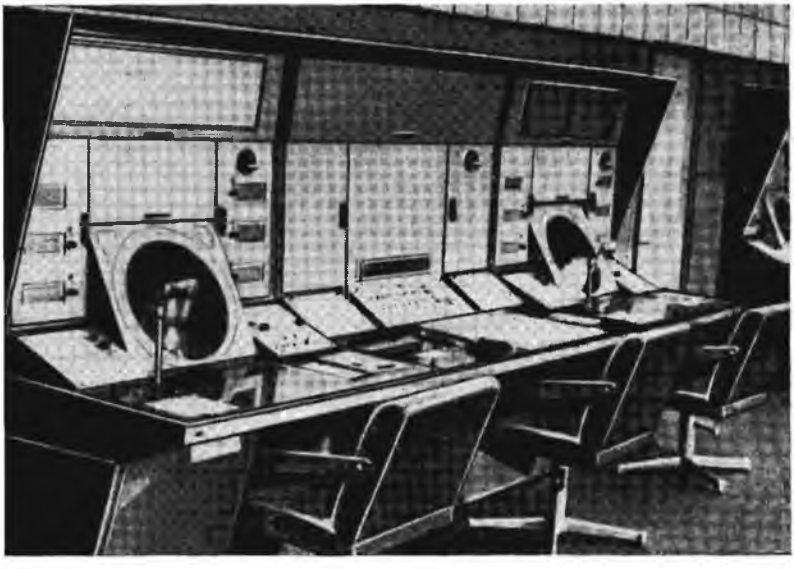




Рис. 12.5. Примеры рациональной компоновки рабочего места диспетчера

чего места должны использоваться преимущественно предметы с матовой поверхностью.

Контрастность, необходимая для лучшего восприятия информации, достигается цветовым решением.

Пример рациональной компоновки рабочего места диспетчера в аэродромной автоматизированной системе УВД представлен на фотографиях (рис. 12.5).

Организация рабочего места диспетчера должна основываться на знании физиологических механизмов воздействия на организм человека факторов внешней среды и физиолого-гигиенических особенностей профессиональной деятельности.

Общую оценку условий окружающей среды на рабочем месте диспетчера целесообразно производить, пользуясь специальной диа-

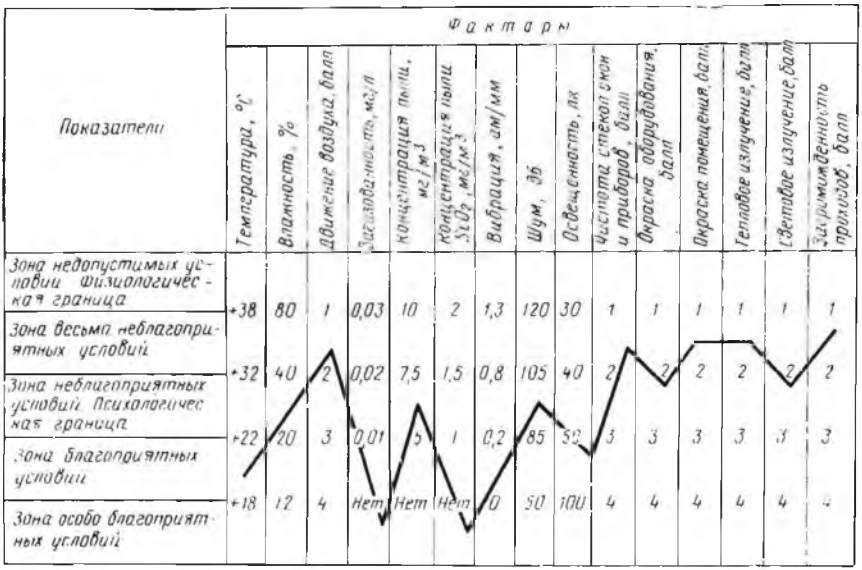



Рис. 12.6. Диаграмма оценки условий окружающей среды на рабочем месте диспетчера

граммой (рис. 12.6). Например, зона неблагоприятных условий следует за «психологической границей», после которой начинаются неприятные ощущения и неудобства при работе диспетчера. Эта граница сигнализирует о несоответствии физиолого-гигиенических условий требованиям нормальной обстановки труда. При переходе за линию «физиологической границы» начинаются недопустимые условия.

На основе анализа диаграммы оценки условий окружающей среды на рабочих местах разрабатываются мероприятия по ликвидации отклонений от установленных нормативов.

Эти мероприятия будут являться составной частью работы по НОТ в службе движения и создавать благоприятную обстановку для деятельности диспетчера.

Факторы, по которым разработаны способы и средства инструментального измерения условий окружающей среды, оцениваются по показаниям соответствующих приборов (нумометров, люисметров и др.).

В остальных случаях оценка производится обычно с качественных позиций по балльной системе.

Необходимые для оценок параметры факторов и условий окружающей среды, а также микроклимата должны определяться работниками санэпидстанции по заявкам руководителей службы движения 2 раза в год (летом и зимой).

**Контрольные вопросы**

1. Какие цели преследует рациональная организация рабочего места диспетчера?
2. Что называют рабочим местом диспетчера и каков состав его оснащения?
3. Сформулируйте задачу рациональной организации рабочего места диспетчера.
4. Перечислите основные группы факторов, определяющих характер трудовой деятельности диспетчера.
5. Приведите перечень факторов, определяющих элементы рабочего места диспетчера.
6. Какие рабочие зоны образуют панели диспетчерского пульта?
7. Перечислите основные эргономические рекомендации по рациональной организации рабочего места диспетчера.

## 12.4. Эргономическое обеспечение терминалов технических средств АС УВД

Автоматизация процессов УВД хотя и направлена на облегчение загруженности диспетчера, но не затрагивает его центральной роли как основного управляющего элемента в простейшем контуре системы УВД, позволяющего выдерживать высокий уровень безопасности полетов при различных ситуациях. Именно поэтому мероприятия по совершенствованию УВД практически всегда следует рассматривать с точки зрения эффективности их влияния на облегчение и упрощение труда диспетчера. Внедряя те или иные технические устройства в элементы простейшего контура УВД, необходимо оценивать прежде всего их влияние на скорость, точность и надежность работы диспетчера. Так, например, скорость, точность и надежность выполнения таких задач и операций в общем контуре информационных процессов деятельности диспетчера (см. рис. 12.1), как сбор и восприятие информации, зависит от таких факторов эргономического обеспечения, как тип, количество и расположение индикаторов, качество, тембр и «чистота» воспроизведения звуковых сигналов, организация перцептивного поля.

Время, затрачиваемое диспетчером на решение задач и выполнение операций по оценке информации (см. рис. 12.1), а также число допускаемых им ошибок при этом при равных прочих условиях (близкая или совпадающая ДВО, одинаковый уровень профессиональной подготовки, равные психофизиологические состояния) определяется способом представления информации на индикаторе, вариантами ее кодирования, степенью сложности информационного моделирования ДВО, объемом отображенной информации, динамикой ее смены. Время и безошибочность выполнения операций, включающих двигательные и речевые операции, также зависят от типа устройств ввода, числа, расположения и оформления органов непосредственного управления, совместимости двигательных операций со средствами представления информации, а также от характеристик, определяющих степень удобства работы с ними диспетчеру.

Таким образом, зависимость таких определяющих качеств деятельности диспетчера, как скорость, точность и надежность выполнения информационных процессов от перечисленных и других факторов эргономического обеспечения, означает, что путем его оптимизации можно существенно снизить общую загруженность диспетчера. Конкретными управляющими функциями оптимизации эргономического обеспечения служат выбор типа и расположения индикаторных устройств ввода информации, факторы организации сенсорного и моторных полей и др. Количественные оценки показателя эффективности оптимизации эргономического обеспечения должны строиться с учетом:

опосредованных данных обработки результатов измерения, например измерений временных характеристик деятельности диспетчера при изменении терминалов технических средств УВД, т. е. их типа, расположения и других факторов эргономического обеспечения после периода адаптации диспетчера, который сам по себе также может служить количественной оценкой данных факторов; инструментальных измерений выходных параметров терминальных устройств и сопоставления их с известными наилучшими для оператора диапазонами значений (параметры зрительных и звуковых каналов терминалов РТС УВД и др.);

результатов обработки экспертного опроса диспетчеров, непосредственно опробовавших внедряемые устройства «диспетчерская оценка». Формируя с помощью указанных типов данных в соответствии с методом выбора предпочтительного варианта единый комплексный показатель эффективности, можно найти обоснованное решение задачи оптимизации эргономического обеспечения рабочего места диспетчера путем выбора среди различных возможных вариантов терминалов технических средств УВД:

$$J_{\Sigma}^{(i)} = \sum_{\nu=1}^{3} \omega_{\nu} I_{\nu}^{(i)}, \qquad (12.1)$$

где $\omega_{\nu}$ — коэффициенты веса (важности, значимости) каждого из показателей $I_{\nu}^{(i)}$, из которых $I_1^{(i)} = I_1^{(i)}(Q_{\Sigma})$ — показатель, характеризующийся величиной загруженности диспетчера при $i$-м варианте терминалов. $I_2^{(i)} = I_2^{(i)} P_j^{(i)})$ — показатель, определяющийся значениями выходных параметров $i$-го варианта терминалов, $I_3^{(i)} = I_3^{(i)} (\tilde{Q}_{\Sigma}^{(i)} \tilde{P}_j^{\omega})$ — показатель диспетчерской оценки $i$-го варианта.

Кроме метода выбора, базирующегося на оценке эффективности различных возможных вариантов терминалов технических устройств УВД с помощью комплексного показателя $J_{\Sigma}$, существуют и другие методы и способы оптимизации эргономического обеспечения. Это метод планирования экспериментов, когда оценка эффективности различных вариантов терминалов, отличающихся, например, различными средствами ДВО, т. е. вариантами индикаторов и устройств ввода информации, оценивается с помощью анали-

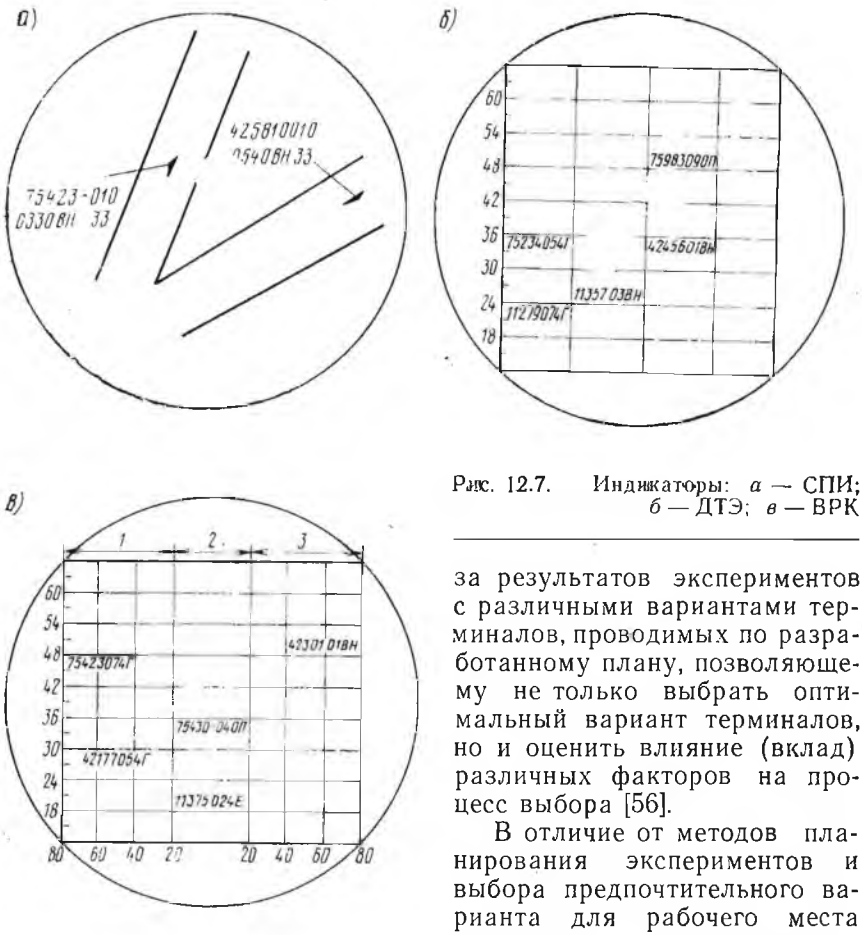



Рис. 12.7. Индикаторы: *а* — СПИ; *б* — ДТЭ; *в* — ВРК

за результатов экспериментов с различными вариантами терминалов, проводимых по разработанному плану, позволяющему не только выбрать оптимальный вариант терминалов, но и оценить влияние (вклад) различных факторов на процесс выбора [56].

В отличие от методов планирования экспериментов и выбора предпочтительного варианта для рабочего места диспетчера можно использовать различные способы как бы «поэлементного» совершенствования терминалов, когда разработка новых и повышение качества существующих технических средств УВД позволяет улучшить какой-либо один терминал, например устройства ввода информации, средства приема-передачи голосовых команд и сигналов и т. д. Здесь необходимо учитывать общие требования к отдельным параметрам таких устройств, среди которых рассматриваются и требования совместимости их с неизменяемыми терминалами.

Так, метод планирования экспериментов при сравнении вариантов терминалов с различными типами индикаторов визуального съема информации с ДВО, например: совмещенный пульт-индикатор (СПИ), диспетчерский табло-эшелонатор (ДТЭ), индикатор вертикального разреза (ВРК) коридора (рис. 12.7); различными типами устройств ввода информации (с помощью клавиатуры; ввода совмещенного с информационным полем; осуществляемого с помощью голосовых команд); с различными вариантами взаимного

расположения индикаторов. Например, СПИ, расположенный вверху по отношению к другим индикаторам, или внизу, показал, что существенное влияние оказывают такие факторы, как: выбор типа устройств ввода, индикаторов, варианты взаимного расположения индикаторов и типа устройств ввода информации. Малосущественное влияние оказывают попарно-взаимное расположение индикаторов и взаимодействие таких факторов, как тип устройств ввода и тип индикатора, тип индикатора и расположение индикатора.

На эффективность информационных процессов в простейшем контуре УВД наиболее существенное влияние оказывают выбор типа ввода информации, варианта индикатора, а также взаимодействие типа ввода информации с расположением индикатора. Установлено, что при сравнительно высокой интенсивности воздушного движения (более шести летательных аппаратов одновременно), но невысоком уровне сложности организации УВД (не более двух трасс либо коридоров в зоне ответственности) оптимальным вариантом является использование двух индикаторов СПИ и ВРК и устройства совмещенного ввода информации. Располагая РВК в зоне, удобной для реализации ввода информации при средней интенсивности четыре — шесть летательных аппаратов одновременно, уровень сложности организации воздушного движения сравнительно высок (более двух трасс с наличием точек схождения либо пересечения). В этом случае рекомендуется использовать устройства совмещенного ввода информации и два индикатора СПИ и ДТЭ. При клавишном вводе информации необходимо устанавливать лишь один СПИ во избежание перераспределения внимания диспетчера.

При использовании способов поэлементного совершенствования терминалов следует учитывать, что, например, средства отображения информации ДВО целесообразно подвергать интеграции. Действительно, простота, надежность и скорость восприятия диспетчером ДВО во многом определяется формой и видом ее представления. Многомерный пространственно-временной образ ДВО легче воспринимается и удерживается диспетчером, если все параметры его выведены на единый индикатор, такой, например, как СПИ.

Целесообразностью интеграции данных вызвано внедрение вторичной локации и ответчиков на борту летательных аппаратов, позволяющих отображать на экранах СПИ в виде формуляров данных о номере борта, текущей высоте полета, остатке топлива, скорости полета и др. Все это значительно облегчает идентификацию летательных аппаратов, существенно сокращает объем радиообмена (в основном по запросам высоты полета), устраняет такой нежелательный эффект, как эффект раздвоения деятельности [127]. Действительно, при наложении двух, а то и более картин и представлений о ДВО, получаемых из разных источников по различным каналам — слуховому и зрительному, возникает значительное преобладание психической направленности на совмещение («стыкование») таких представлений. Возникает та доминанта, которая стремится подавить уже имевшиеся представления и навыки по

построению концептуальной (внутренней) модели ДВО, вызывая тем самым серьезные нервно-психические перенапряжения, служащие причиной потери связной мысли, нарушения восприятия в зрительном и (или) слуховом анализаторах и др.

Кроме требования интеграции, учитываемого при выборе типов терминалов такого важнейшего вида, как индикаторы, необходимо учитывать еще и такие их качества, как объем отображаемой информации, помехозащищенность, скорость и точность решения задач по УВД с их помощью. Для каждого из перечисленных качеств индикатора можно ввести свой частный показатель эффективности. Например, объем отображаемой информации может быть подсчитан для каждого из вариантов индикаторов с помощью использования формул Шеннона (4.32), (4.36), помехозащищенность — путем инструментального измерения силы яркости сигналов, общего фона и помех на экране индикатора и т. д. На основе этих показателей осуществляется решение выбора предпочтительного варианта индикаторов.

Аналогичным образом поступают и в случае задачи выбора варианта и внедрения новых типов средств ввода информации. Однако при этом одним из важных качеств устройств ввода, имеющих непосредственное отношение к эргономическому обеспечению терминалов, является возникающий при взаимодействии оператора с ЭВМ нежелательный эффект. Он проявляется в наиболее уязвимом звене при передаче информации от человека к машине в каналах связи человека с ЭВМ, в качестве которых используются средства ввода информации. Случайная возможность возникновения искажений исходной вводимой информации, например, номеров бортов, индексации аэродромов, номеров каналов и других, вызывает у оператора чувства недоверия, тягостного состояния ожидания ошибки, сбоя, приводящих к напряженности в деятельности диспетчера.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что наиболее целесообразным путем повышения достоверности информации, вводимой оператором в ЭВМ, является организация оперативного обнаружения ошибок с помощью так называемой кодовой защиты. При равных прочих условиях предпочтение следует отдавать тем вариантам средств ввода информации, которые обладают оперативной кодовой защитой. Примером одного из наиболее простых способов кодовой защиты может служить способ, нашедший применение в практике работы ряда АСУ железнодорожного транспорта европейских стран.

Пусть, например, нужно защитить бортовые номера двух формуляров, вводимых с пульта диспетчером в ЭВМ—75735 и -75638. Для осуществления такой защиты после их передачи с помощью средств ввода информации нужно добавить код защиты. Нужна только одна цифра. В приведенных двух номерах бортов летательных аппаратов это цифра 2 для первого и цифра 7 для второго. Они получаются суммированием чисел ряда, образованного из номера борта путем удваивания первой, третьей, пятой цифры (по порядку нечетной) номера борта и дополнением значения полученной суммы до десятков, например:

| | |
|---|---|
| 7, 5, 7, 3, 5 | 7, 5, 6, 3, 8 |
| 14, 5, 14, 3, 10 | 14, 5, 12, 3, 16 |

Если суммировать все цифры (не путать с числами) во втором ряду, то получится:
1+4+5+1+2+3+1+0=18 и
1+4+5+1+4+3+1+6=23.

Дополнение значений разряда единиц 8 и 3 до десяти и даст цифру кода защиты 2 и 7 соответственно.

С такой дополнительной информацией бортовые номера запишутся следующим образом:
«75735 — 2»; «75638 — 7».

Подобный способ оперативной кодовой защиты позволяет обнаружить все ошибки, вызванные искажением одной цифры вводимого в машину номера, большую часть двойных ошибок, а также искажения, вызванные перестановкой двух соседних цифр при ручном вводе информации. Достоинством способа кодирования является его простота, позволяющая в необходимых случаях проверять правильность сообщений вручную. Реализация такого способа осуществляется достаточно просто с помощью приставок к средствам информации, реализующих контрольное суммирование цифр основной информации.

Исправление ошибок целесообразно производить в диалоговом режиме работы оператора-диспетчера с ЭВМ.

Кроме требования кодовой защиты информации, средства ввода должны обладать свойствами быстродействия при непосредственном вводе и в процессе решения задач по УВД, а также рядом других свойств, достаточно широко описанным в литературе по инженерной психологии и эргономике [22, 159]. Все эти требования позволяют сформировать достаточно полную совокупность частных показателей эффективности, что, в свою очередь, дает возможность обоснованного решения задачи выбора предпочтительного варианта и для средств ввода информации.

**Контрольные вопросы**

1. Дайте обоснование важности эргономического обеспечения при автоматизации процесса УВД.

2. Перечислите основные факторы эргономического обеспечения и их влияние на процессы деятельности диспетчера.

3. Сформулируйте общую задачу оптимизации эргономического обеспечения рабочего места диспетчера.

4. Какие методы и способы решения задачи оптимизации эргономического обеспечения известны?

5. Приведите перечень основных результатов, которые получены при этом с использованием метода планирования экспериментов.

6. Перечислите основные требования к выбору варианта индикаторных терминалов.

7. В чем состоит сущность эффекта раздвоения деятельности и каким путем его можно устранить?

8. Приведите перечень основных требований к средствам ввода информации.

9. Поясните основной смысл оперативной кодовой защиты и найдите цифры кодовой защиты для бортовых номеров 42315, 42581.

## 13.1. Общая технология работы диспетчера

Непосредственное осуществление УВД представляет собой целенаправленную совокупность действий диспетчеров, главные из которых направлены на предупреждение опасных сближений, летательных аппаратов между собой и с наземными препятствиями.

Выполнение полетов, осуществляемых под непосредственным контролем УВД, подразделяется на: предполетную подготовку со стороны службы движения (АДП); отправление летательных аппаратов (ДПР); взлет (СДП); выход летательных аппаратов из района аэродрома (ДПК, ДПП); полет по маршуту (РЦ); вход в район аэродрома (ДПП); заход на посадку (ДПК, ПДП); посадка и подруливание к месту стоянки (СДП, ПДР).

В период предполетной подготовки экипаж составляет данные для плана полетов (ФПЛ) по маршуту полета, использует данные навигационной и метеорологической обстановки. Не позднее чем за 30 мин до вылета командир летательного аппарата должен представить ФПЛ диспетчеру АДП. Диспетчер руления даст указания о порядке руления к ВПП [173].

На предварительном старте экипаж проверяет готовность летательного аппарата к взлету. Занятие ВПП и взлет разрешает диспетчер старта. После взлета набор высоты осуществляется с разрешения диспетчера круга и подхода. Полет летательного аппарата контролируется с помощью радиолокационных станций. При выходе летательного аппарата из района аэродрома диспетчер подхода передает его управление диспетчеру сектора районного центра. Экипаж должен докладывать в РЦ пролеты пунктов обязательных донесений (ПОД), которые определяются с помощью бортовых навигационных средств. Кроме того, экипаж должен сообщать трассовому диспетчеру высоту, маршрут и расчетное время пролета очередного ПОД. Диспетчер РЦ передает управление диспетчеру подхода аэродрома посадки в момент пролета самолетом радионавигационной точки коридора входа на высоте, обусловленной инструкцией по производству полетов в районе аэродрома. Заход на посадку и посадка осуществляются с помощью существующих средств посадки. Таким образом, процесс УВД расчленен на отдельные этапы, протекающие в ограниченных зонах и секторах УВД, в каждом из которых управление осуществляют отдельные диспетчеры. При выполнении полетов в каждой конкретной зоне возникают случайные отклонения от утвержденной программы полета либо создаются такие неблагоприятные ситуации развития воздушной обстановки, в которых вмешательство диспетчера просто необходимо.

Природа возмущений весьма разнообразна, среди них можно выделить следующие основные виды: условия выполнения поле-

тов (географические, метеорологические, времени суток, правила полетов и т. д.,); организационные и информационные; социальные (нарушения трудовой дисциплины); психофизиологические и профессиональной подготовки. Перечисленные факторы воздействуют на процесс полетов и процессы непосредственного УВД в совокупности в определенных ситуациях и могут оказывать существенное влияние на безопасный исход полета. Система УВД поэтому должна обеспечивать выработку управляющих воздействий с целью уменьшения возмущений.

Технология работы диспетчеров представляет собой инструкцию, регламентирующую последовательность выполнения операций при осуществлении УВД в простейшем контуре системы УВД, и содержит: описание зоны ответственности и радиотехнических средств, с помощью которых решаются задачи УВД; описание всех требуемых операций при подготовке и приеме дежурства; процедуры, указывающие на последовательность выполняемых операций, при решении конкретной задачи УВД; необходимые меры обеспечения безопасности полетов в особых случаях полетов; любые необходимые дополнительные процедурные или технические данные.

Порядок и последовательность выполнения операций определяются условиями развития воздушной обстановки, структурой диспетчерской зоны и т. д. Эффективность и своевременность выполнения операций и составляет основу обеспечения безопасности полетов.

Управляющие воздействия диспетчера на развитие воздушной обстановки тем эффективнее, чем меньше времени пройдет с момента восприятия необходимой информации до момента подачи команды на борт летательного аппарата. Этот промежуток времени определяется не только квалификацией диспетчера, но и качеством средств отображения информации.

Так как физические возможности человека по приему и обработке воспринимаемой информации ограничены, то автоматический сбор и представление такой информации должен быть удобным для восприятия, что значительно повышает оперативные возможности оператора [157].

Внедрение вторичных радиолокаторов с автоматическим декодированием выдаваемой информации дает возможность диспетчерам идентифицировать летательные аппараты, определять параметры полета, прогнозировать развитие воздушной обстановки до нескольких минут. Все это в совокупности позволяет снизить загруженность диспетчерского состава, повысить надежность и эффективность его труда. При УВД диспетчеру приходится решать множество разнообразных задач управления воздушным движением. Если считать, что задача непосредственного УВД возникает всякий раз, когда имеет место отклонение летательного аппарата от его программы или развитие воздушной обстановки может привести к созданию конфликтной ситуации, то можно утверждать, что задача УВД существует тогда, когда имеет место более чем одно возможное решение и если возможные решения не очевидны. Диспет-

чер на этапе непосредственного УВД выполняет следующие основные функции:

идентификацию летательного аппарата при входе и выходе из зоны УВД, пролете пункта обязательного донесения, разрешении конфликтной ситуации, оценке воздушной обстановки;

оценку текущего состояния воздушной обстановки; определение местоположения летательных аппаратов, сравнение с планом полета, соотношение положения самолета к линии заданного пути;

прогноз развития состояния воздушной обстановки; определение тенденции отклонения параметров движения летательных аппаратов от программы, представление взаимного местоположения летательных аппаратов на определенный интервал времени, соотношение фактических и необходимых пространственных интервалов между летательными аппаратами;

принятие решений при УВД: определение необходимой и достаточной информации, выбор критерия и ограничений, анализ исходной и текущей информации, оценка возможных и допустимых ситуаций, собственно принятие решения;

передачу управляющих воздействий: последовательность, порядок выдачи команд и информации;

контроль исполнения: оценка развития воздушной обстановки, изменение условий.

Воздушная обстановка в зоне УВД представляет сложную динамическую систему распределения летательных аппаратов в пространстве и во времени.

Случайный выбор задачи УВД, принятие решений диспетчером в условиях неопределенности резко повышают вероятность ошибочных действий, уровень его психофизиологической напряженности и снижает скорость принятия решения. Достижение максимальной эффективности системы УВД может быть получено при условии согласования психологических возможностей человека и характеристик технических устройств, предназначенных для выполнения перечисленных основных функций диспетчера по контролю и управлению воздушным движением.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите диспетчерские пункты управления воздушным движением во взаимодействии при непосредственном УВД.
2. Каким требованиям должна отвечать система, осуществляющая непосредственное УВД?
3. Определите понятие психологии работы диспетчеров.
4. Поясните содержание технологии работы диспетчеров.
5. Какие задачи решает диспетчер в процессе управления полетами?

## 13.2. Пультовые операции в АС УВД и их автоматизация

Автоматизированная система УВД «СТАРТ» решает задачи автоматического сбора, обработки и представления на СПИ информации о планах полетов вылетающих и прилетающих летательных

аппаратов до входа их в зону управления, динамической информации о текущей и прогнозируемой воздушной обстановке. Система позволяет осуществлять автоматическое взаимодействие между всеми секторами круга и подхода. На яркостных СПИ отображается статическая координатная информация о структуре зоны, динамическая графическая информация векторов упрежденного положения самолетов, линии пеленга, координатная радиолокационная информация о местоположении летательных аппаратов.

В аэродромной автоматизированной системе УВД «СТАРТ» приняты следующие виды отображения информации на совмещенном плане-индикаторе:

формуляры сопровождения (ФС):

75735 «+»01
К ЧД 12↑30,

где К — признак того, что самолет находится в зоне управления диспетчера сектора «к» (связан с бортовым номером наклонной линией); 75735 — бортовой номер ЛА; «+» — магнитный признак обращения; 01 — номер формуляра; ЧД — коридор выхода (аэродром назначения); 12 — заданная высота в сотнях метров; ↑ — признак набора высоты; 30 — текущая высота в десятках метров;

табличный формуляр (ТФ)

3+42403«+»08ЛД 18 М,

где 3 — номер коридора; «+» — наличие ответчика; «—» — отсутствие ответчика на борту ЛА; 42403 — бортовой номер ЛА; 08 — номер формуляра; ЛД — аэропорт назначения; 18 — заданная высота в сотнях метров; М — символ сектора, которому передается управление;

формуляр ожидания (ФО) при вылете ЛА

Л 49 42403«+»07 4Д 078,

где Л — признак аэродрома вылета; 49 — планируемое время взлета; 42403 — бортовой номер самолета; 07 — номер формуляра; 4Д — коридор выхода; 078 — номер эшелона (по флайт-плану;

формуляр ожидания (ФО) при прилете ЛА

49 75735«+»01 ЛД 057;

где 49 — расчетное время прибытия; 75735 — бортовой номер самолета; 01 — номер формуляра; ЛД — аэропорт назначения; 057 — эшелон входа ЛА в зону УВД;

микротабло (МТ), используемое для ввода предварительной информации в ЭВМ по вылетающим или прилетающим ЛА и для исправления информации в формулярах сопровождения или табличных формулярах ЛА.

Порядок набора информации в микротабло следующий:

4 49 ЛДЧД 42403 078 . . . . . ТУ04,

где 4 — коридор следования; 49 — время взлета или время входа в зону; ЛД — аэропорт вылета; ЧД — коридор выхода или аэропорт назначения; 42403 — бортовой номер; 078 — заданный эшелон в сотнях метров; . . . . . — знак места для позывного самолета; ТУ04 — тип самолета (Ту-104);




Рис. 13.1. Виды представления информации на СПИ

табло системных данных:
14 15 02
767 1200
начало,

где 14 15 02 — текущее время в часах, минутах, секундах; 767 — аэродромное давление; 1200 — второй эшелон зоны ожидания; «начало» означает возможность выполнять пультовые операции.

В процессе осуществления УВД диспетчер управляет вылетающими, прилетающими и пролетающими летательными аппаратами. Виды представления информации на СПИ по каждому самолету, как оборудованному, так и не оборудованному самолетным ответчиком, а также взаимодействие между диспетчерами при передаче управления показаны на рис. 13.1.

На рабочих местах диспетчеров круга и подхода размещены следующие органы оперативного управления: функционально-универсальная клавиатура, эшелонатор и датчик прямоугольных координат (ДПК).

Датчик прямоугольных координат служит для ввода в ЭВМ координатной информации о местоположении отметок летательных аппаратов и формуляров сопровождения на СПИ.

Эшелонатор предназначен для ввода заданной высоты в формуляры и микротабло.

Клавиатура по своему назначению подразделяется на группы:

первая группа клавишей служит для ввода в систему информации о вылетающих и прилетающих самолетах, корректировки информации в формулярах;

вторая группа функциональных клавишей предназначена для: размещения списков формуляров ожидания, табличных, микротабло и табло системы данных по полю совмещенного плана-индикатора; выбора полноты формуляра сопровождения; передачи управления, перевода одного вида формуляров в другой и т. д.

третья группа алфавитно-цифровых клавишей предусмотрена для набора необходимой буквенной и цифровой информации.

С помощью органов оперативного управления диспетчер может выполнять различные операции. При обращении к различным формулярам необходимо с помощью цифровой клавиатуры набрать двузначный номер нужного формуляра. Кроме того, к формуляру сопровождения можно обратиться с помощью ДПК, переместив маркер ДПК к координатной отметке летательного аппарата, к которой привязан соответствующий формуляр сопровождения, и нажав клавишу «Ввод» на панели ДПК.

Для ввода заданной высоты в формуляры сопровождения или табличный необходимо обратиться к данному формуляру и ввести заданную высоту нажатием соответствующей клавиши на эшелонаторе.

Выбор полноты формуляров сопровождения, находящихся в секторе управления данного диспетчера, производится путем нажатия одной из трех функциональных клавишей («I», «II», «III»).

При нажатии клавиши «I» у отметки самолета высвечивается только буква, означающая признак руководства того диспетчера, в зоне которого находится самолет.

При нажатии клавиши «II» у отметки самолета появится однострочный формуляр

К 42403 05,

где К — признак руководства; 42403 — бортовой номер самолета; 05 — номер формуляра.

При нажатии клавиши «III» на экране СПИ отражается полный двухстрочный формуляр

42403 05
Н ЧД 57 360.

Для выбора полноты какого-либо одного летательного аппарата необходимо обратиться к номеру его формуляра и нажать соответствующую клавишу полноты.

Вызов путевой скорости в формуляр сопровождения (ФС) производится нажатием клавиши «*W*». Во второй строке ФС вместо заданной и текущей высоты и аэропорта назначения отображается путевая скорость:

42403 05
860
Н,

где 860 — путевая скорость самолета, км/ч.

Сброс значения путевой скорости осуществляется повторным нажатием клавиши «*W*».

Во второй строке ФС можно отобразить эшелон следования по трассе и остаток топлива. Для этого необходимо нажать функциональную клавишу «*Q*, $H_{тр}$»

42403 05
100 75
Н,

где 100 — эшелон следования по трассе в сотнях метров; 75 — остаток топлива, %.

При повторном нажатии клавиши «*O*, $H_{тр}$» происходит сброс данной информации, восстанавливается полный двухстрочный формуляр сопровождения.

Ручной ввод в сопровождение самолета, оборудованного ответчиком, нужно выполнять в следующем порядке: нажать функциональную клавишу сопровождения «Сопр»; вращая шаровой кнюпель, переместить маркер ДПК к отметке самолета, который нужно ввести в сопровождение; нажать клавишу «Ввод» на панели ДПК.

Для перевода формуляра сопровождения в табличный следует обратиться к номеру формуляра и нажать функциональную клави-

шу «Таб». В этом случае у отметки самолета появится номер формуляра, а табличный формуляр на экране СПИ будет иметь вид: 4+42403 05 ЧД 57.

При переводе из табличного формуляра самолета, оборудованного ответчиком, в ФС необходимо обратиться к номеру формуляра данного самолета и нажать клавишу «Сопр». Табличный формуляр сбросится, а у отметки самолета появится формуляр сопровождения.

Для перевода формуляра ожидания или табличного формуляра самолета, не оборудованного ответчиком, в формуляр сопровождения диспетчер должен: обратиться к данному формуляру с помощью номера формуляра; нажать функциональную клавишу «Сопр»; указать с помощью ДПК точку пространства на экране СПИ, к которому должен быть привязан формуляр. Для этого с помощью кнюпеля необходимо переместить маркер ДПК в нужную точку экрана индикатора, а затем нажать «Ввод» на панели ДПК.

Если по условиям воздушной обстановки требуется определить будущее положение самолетов, то после нажатия одной из клавиш «ВКТ1» или «ВКТП» появляется вектор упрежденного местоположения самолета соответственно на 2 или 4 мин вперед. Для сброса векторов необходимо нажать функциональную клавишу «Гашение».

Система позволяет осуществить «быстрый просмотр» всех самолетов, находящихся на управлении у диспетчера смежного сектора. Для этого необходимо нажать клавишу с буквой этого сектора и у отметок самолетов, имеющих признак управления смежного сектора, отобразятся формуляры сопровождения. Сброс этой информации осуществляется путем нажатия алфавитной клавиши с буквой своего сектора управления.

Диспетчер по своему желанию может изменять расположение линий-связок формуляров сопровождения как по всем самолетам, находящимся в данном секторе управления, так и выполнить эту операцию для одного самолета. В первом случае необходимо нажать функциональную клавишу мультифункции «М/Ф» и одну из четырех клавиш нужного направления линии-связки. Во втором случае следует обратиться к номеру формуляра данного самолета, нажать клавиши мультифункции и выбранного направления линии-связки.

В процессе управления воздушным движением система осуществляет автоматизированное согласование приема-передачи управления самолетом из одного сектора в другой. Диспетчер должен обратиться к формуляру того самолета, который нужно передать на управление в смежный сектор. Затем нажать клавишу «Управление» и клавишу с буквой смежного сектора. При согласии приема на управление данного самолета диспетчер смежного сектора обращается к формуляру данного самолета и нажимает на клавишу «Управление».

В системе предусматривается объединение секторов управления и осуществление УВД с одного рабочего места диспетчера. Для объединения двух секторов необходимо: нажать клавиши «М/Ф»,

«Я», а затем клавишу с буквой смежного сектора управления, с которым объединяется данный сектор.

Для разделения секторов необходимо сначала нажать клавиши «М/Ф», а затем клавишу с буквой своего сектора управления.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите виды отображаемой информации на СПИ.
2. Приведите рисунок, раскрывающий вид и содержание формуляра сопровождения.
3. Покажите вид и содержание табличного формуляра.
4. Поясните с помощью примера записи вид и содержание формуляра ожидания.
5. Поясните назначение и виды органов оперативного управления на рабочем месте диспетчера.
6. Перечислите пультовые операции, выполняемые диспетчером при УВД.

## 13.3. Операции непосредственного УВД при вылете летательного аппарата

Информация о вылетающих летательных аппаратах вводится оператором (диспетчером) в систему не ранее чем за 40 мин до планируемого времени взлета с помощью функционально-универсальной клавиатуры. Последняя обеспечивает минимальное выполнение наиболее часто повторяющихся при УВД пультовых операций: обращение к формуляру ЛА, ввод заданной высоты, согласование высоты входа в смежную зону.

Оператор набирает информацию о вылете летательного аппарата на контрольном табло в следующем виде:

4 49 ЛД ЧД 75735 078,

где 4 — номер коридора выхода; 49 — расчетное время взлета; ЛД — аэропорт вылета; ЧД — коридор выхода; 75735 — бортовой номер самолета; 078 — эшелон полета в сотнях метров (указанных в флайт-плане).

Затем он проверяет на табло правильность набранной информации и, нажав на клавишу «Ввод», вводит ее в ЭВМ. При необходимости коррекции набранной информации оператор использует клавиши «Стирание», «Возврат» и «Пробел». За 5 мин до планируемого времени взлета на СПИ диспетчерских пунктов, через зоны которых планируется маршрут полета, высвечиваются формуляры ожидания (ФО) данного самолета. По желанию диспетчера они могут располагаться в любой части СПИ, но, как правило, формируются в районе аэродрома. Формуляры ожидания располагаются в специальной таблице на СПИ по группам аэродромов вылета, а внутри группы в порядке очередности.

После взлета летательного аппарата, оборудованного СОМ, и попадания его в зону действия системы, ФО сбрасывается на СПИ диспетчера круга (сектор К). У отметки самолета отображается признак руководства К и полный двухстрочный формуляр сопровождения:

75735 01
ЧД А 30
К,

где 75735 — номер самолета; 01 — номер формуляра; ЧД — коридор выхода; А — признак отсчета высота полета относительно уровня аэродрома вылета; 30 — текущая высота в десятках метров.

После ввода самолета в автосопровождение на СПИ тех диспетчеров, в пространстве управления которых планируется полет летательного аппарата, в формуляре ожидания высвечивается признак руководства вместо расчетного времени взлета. ФО приобретает следующий вид: Л К 75735 01 ЧД 078.

Если в течение 17 мин после расчетного времени летательный аппарат не взлетит, то ФО сбрасывается с экрана СПИ, а информация по данному самолету — из памяти ЭВМ.

Установив связь с экипажем, диспетчер круга передает ему условия выхода из зоны взлета и посадки (высоту и сторону разворота). Заданную высоту набора диспетчер вводит в формуляр сопровождения. Диспетчер обращается к ФС, т. е. набирает с помощью цифровой клавиатуры номер формуляра. В этом случае на шестом знакоместе первой строки ФС появляется и начинает мигать признак обращения «+»:

75735«+»01
ЧД А 35
К.

Диспетчер путем нажатия соответствующей клавиши высоты на эшелонаторе вводит заданную высоту полета. При этом во второй строке ФС появится заданная высота в сотнях метров и знак обращения погаснет:

75735 01
ЧД 12 А 36
К.

В момент пересечения самолетом высоты перехода после установки экипажем на высотомере отсчета высоты полета относительно уровня «760 мм рт. ст.» в формуляре сопровождения вместо символа «А» появится признак высоты ↕

75735 01
ЧД 12 ↕ 65
К.

Если условия воздушной обстановки требуют передачи управления смежному сектору на высоте, отличающейся от установленной, то диспетчер круга должен согласовать ее с диспетчером подхода. Для этого диспетчер круга должен выполнить следующие операции: обратиться к ФС, ввести высоту передачи, нажать функциональную клавишу «Управление», нажать клавишу сектора передачи, допустим «М».

На СПИ диспетчера сектора К в ФС данного самолета высветится заданная высота и на девятом знакомстве первой строки отобразится символ «М», а признак К начнет мигать.

75735 01М
ЧД 15 ↕ 70
«К».

На СПИ диспетчера подхода сектора «М» формуляр ожидания данного самолета сбрасывается. У отметки летательного аппарата развертывается полный двухстрочный формуляр сопровождения и на девятом знакомстве его первой строки появляется и начинает мигать символ «М»

75735 01«М»
К ЧД 15 ↕ 70.

Диспетчер подхода сектора «М» при согласии принять летательный аппарат на данной высоте должен выполнить следующие операции: обратиться к ФС этого самолета, нажать функциональную клавишу «Управление».

При этом на СПИ диспетчеров круга и подхода в ФС остаются, но прекращают мигать символы «К» и «М».

Если воздушная обстановка не позволяет диспетчеру сектора «М» принять данный самолет на запрашиваемой высоте, то все согласования между диспетчерами ведутся по громкоговорящей связи.

Технология работы предписывает диспетчеру при пролете самолета между секторами передавать на борт команду о переходе экипажа на связь с диспетчером сектора входа.

В момент пересечения самолетом высоты $H = H_{\text{звп}} + 150$ м или при пересечении в плане границы разделения секторов на СПИ диспетчера подхода сектора «М» и диспетчера круга, сектора «К» в ФС данного летательного аппарата признак «К» исчезает, а признак «М» перемещается к координатной отметке.

В момент пересечения высоты $H = H_{\text{звп}} + 450$ м либо через 10 обзоров радиолокатора (1 мин полета) после пересечения в плане границы между секторами на СПИ диспетчера круга ФС сокращается до признака руководства «М» (рис. 13.2).

При автоматическом согласовании приема-передачи управления летательным аппаратом на СПИ диспетчеров круга и подхода отображается следующая информация.

В момент достижения самолетом высоты $H = H_{\text{звп}} - 450$ м или за 10 оборотов радиолокатора до пролета в плане границы между секторами «К» и «М» на СПИ диспетчера подхода сектора «М» у координатной отметки высвечивается полный формуляр сопровождения (принимает выбранную диспетчером полноту ФС). При достижении летательным аппаратом высоты $H = H_{\text{звп}} + 150$ м или при пролете рубежа приема-передачи в плане формуляра сопровождения данного самолета происходит автоматическая смена признака руководства «К» на символ «М». В момент пересечения высоты $H = H_{\text{звп}} + 450$ м или через 10 обзоров радиолокатора после пролета рубежа приема-передачи в плане на СПИ диспетчера круга

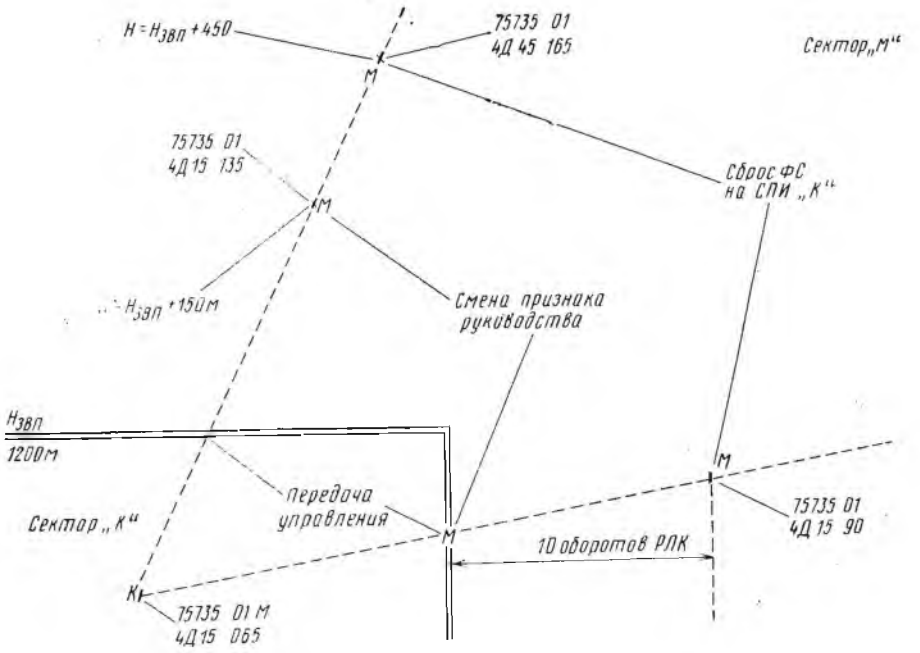



Рис. 13.2. Отображение информации на СПИ при взлете самолета при ручном согласовании

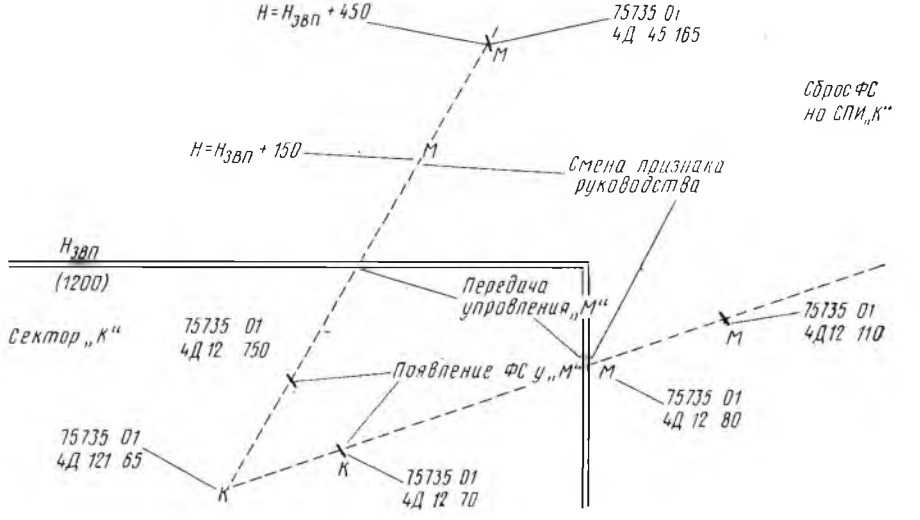



Рис. 13.3. Отображение информации на СПИ при взлете самолета при автоматическом согласовании высоты передачи

ФС данного самолета сокращается до признака руководства «М» (рис. 13.3).

После взлета летательного аппарата, не оборудованного ответчиком, диспетчер круга должен перевести формуляр ожидания по этому летательному аппарату в формуляр сопровождения.

Диспетчер круга выполняет операции в определенном порядке: ему необходимо обратиться к формуляру ожидания

Л 33 42 315«+»18 ЧД 090;

нажать функциональную клавишу «Сопровождение»; вращая шаровой кнюпель, переместить маркер ДПК к отметке самолета, который нужно ввести в сопровождение; нажать клавишу «Ввод» на панели ДПК.

У координатной отметки высветится формуляр сопровождения

42 315 18
ЧД . . .,
К

где К — признак руководства; 42315 — бортовой номер самолета; 18 — номер формуляра; ЧД — коридор выхода; . . . . — индикация непоступления в систему сигнала от ответчика.

При переводе диспетчером круга ФО в табличный формуляр (ТФ) на СПИ тех секторов, через зону которых планируется полет данного летательного аппарата, ФО приобретает вид

ЛК 42315 18 ЧД 090.

В процессе набора летательным аппаратом высоты диспетчер круга должен ввести заданную высоту в ФС, на которой он намерен передать данный летательный аппарат на управление диспетчеру сектора подхода «М». Для этого необходимо:

обратиться к ТФ, используя номер формуляра или ДПК

42 315«+»18
ЧД . . . .
К

ввести заданную высоту 1200 м путем нажатия соответствующей клавиши эшелонатора либо нажать клавишу $H_з$ на эшелонаторе и с помощью цифровой клавиатуры набрать высоту в сотнях метров;

42315 18
ЧД 12 . . . .
К

Диспетчер круга по желанию может перевести ФС в табличный формуляр. Для этого необходимо обратиться к формуляру и нажать функциональную клавишу «Таб».

У отметки данного летательного аппарата ФС сбросится, а к ней привяжется и будет сопровождать номер формуляра.

Табличный формуляр отобразится в виде

4—42 315 18 ЧД 12,

где 4 — номер коридора выхода; «—» — признак отсутствия на самолете ответчика; 42315 — бортовой номер самолета; 18 — номер формуляра; ЧД — коридор выхода; 12 — заданная высота.

Табличные формуляры вылетающих летательных аппаратов располагаются в специальной группе списка табличных формуляров

по усмотрению диспетчера в любой части СПИ. Внутри этой группы ТФ упорядочиваются по коридорам, а внутри одного коридора — по высотам. Если диспетчеру круга необходимо согласовать высоту входа данного летательного аппарата в сектор «М», то он обязан обратиться к ТФ, используя номер формуляра или ДПК, нажать функциональную клавишу «Упр», а затем клавишу с буквой сектора передачи.

На СПИ диспетчера круга на 17-м знакоместе табличного формуляра появляется и начинает мигать признак «К»

4—42315 18 ЧД 12«К».

На СПИ диспетчера подхода сектора «М» формуляр ожидания сбрасывается, в списке табличных формуляров появляется ТФ данного летательного аппарата и на его 17-м знакоместе отображается и начинает мигать признак «К»

4—42315 18 ЧД 12«К».

Если воздушная обстановка позволяет диспетчеру подхода принять летательный аппарат на данной высоте, то он обязан:

обратиться к формуляру данного летательного аппарата 4—4 2315«+»18 ЧД 12«К»; нажать на функциональную клавишу «Упр.». В этом случае на СПИ диспетчеров круга и подхода прекращает мигать признак «К»

4—42315 18 ЧД 12 К.

В момент пересечения летательным аппаратом границы зоны взлета и посадки диспетчер круга обязан подать команду экипажу о переходе на связь с диспетчером сектора «М» и сбросить ТФ данного летательного аппарата. При этом на СПИ диспетчера подхода сектора «М» в табличном формуляре этого летательного аппарата исчезнет признак К.

Диспетчер подхода, установив связь с экипажем данного летательного аппарата, дает указания о наборе заданной высоты и может перевести табличный формуляр в формуляр сопровождения. Для этого необходимо: обратиться к данному ТФ с помощью номера формуляра; нажать клавишу «Сопр»; указать с помощью ДПК точку пространства на экране СПИ, у которой должен быть отображен формуляр. При помощи шарового кнюпеля необходимо переместить маркер ДПК в нужную точку экрана индикатора, а затем нажать клавишу «Ввод» на панели ДПК.

С учетом ввода заданной высоты формуляр сопровождения имеет вид:

42 315 18
ЧД 54 . . .
М

Получив доклад от экипажа о пролете РНТ выходного коридора, диспетчер обязан дать указания о переходе на связь с трассовым диспетчером. Формуляр сопровождения сбрасывается при достижении внешнего рубежа автосброса. Если информация о движении самолета отображалась в виде табличного формуляра, то диспетчер подхода должен сбросить ТФ.

**Контрольные вопросы**

1. Покажите порядок и содержание информации, вводимой в ЭВМ, о вылетающих летательных аппаратов.
2. Как происходит отображение информации на СПИ при пересечении летательным аппаратом внутреннего рубежа автозахвата.
3. Поясните порядок ввода заданной высоты в формуляр сопровождения.
4. Перечислите пультовые операции и поясните содержание отображающейся информации на СПИ при ручном согласовании рубежа приема-передачи между секторами.
5. Поясните содержание отображения информации на СПИ при автоматическом согласовании рубежа приема-передачи между секторами.
6. Каков порядок перевода формуляра сопровождения в табличный.
7. Поясните содержание и форму отображаемой информации на СПИ при нахождении на УВД не оборудованного ответчиком летательного аппарата.

## 13.4. Операции непосредственного УВД при прилете летательного аппарата

Предварительную информацию о прибывающем летательном аппарате оператор получает от диспетчера районного центра и набирает ее в табло контроля вводимой информации по аналогии со случаем вылета. Проверив правильность набранной информации, оператор нажатием на клавишу «Ввод» вводит ее в ЭВМ. За 5 мин до планируемого времени входа в район аэродрома на СПИ тех диспетчеров, через пространство которых планируется полет данного летательного аппарата, отображается формуляр ожидания

48 75638 07 ЛД 045,

где 48 — расчетное время пролета РНТ коридора входа; 75638 — бортовой номер; 07 — номер формуляра; ЛД — аэропорт посадки; 045 — эшелон входа в район аэродрома.

Формуляры ожидания прилетающих летательных аппаратов располагаются на СПИ, как правило, в районе входного коридора в порядке очередности времени входа.

При входе в зону действия системы летательного аппарата, оборудованного ответчиком, по которому в ЭВМ хранится информация в виде ФО, происходит автоматический ввод данного летательного аппарата в сопровождение. У его отметки на экране появляется двухстрочный формуляр сопровождения

75638 07
ЛД 455,
Н

где 75638 — бортовой номер; ЛД — аэропорт назначения; 455— текущая высота в десятках метров.

При входе летательного аппарата, оборудованного ответчиком, по которому в памяти ЭВМ нет формуляра ожидания, автоматического ввода данного летательного аппарата в сопровождение не происходит. Диспетчер подхода должен ввести его в сопровождение при помощи датчика прямоугольных координат.

При желании диспетчер подхода может перевести ФС в табличный формуляр. Для этого ему необходимо обратиться к формуляру сопровождения и нажать функциональную клавишу «Таб.».

У отметки летательного аппарата появится номер формуляра, а табличный формуляр отобразится в специальной группе списка табличных формуляров. В этой группе формуляры располагаются по группам, а внутри одного коридора по заданным высотам. Табличный формуляр будет иметь следующий вид:

3+75638 07 ЛД 15 А,

где 3 — номер коридора; «+» — признак того, что летательный аппарат сопровождается системой; 75638 — бортовой номер; 07 — номер формуляра; ЛД — аэропорт назначения; 15 — заданный эшелон в сотнях метров;

Для перевода ТФ в формуляр сопровождения необходимо обратиться к данному ТФ с помощью номера формуляра, а затем нажать клавишу «Сопр.»

Если информация о самолете отображается в виде ФС, а сигнал от ответчика не поступает в систему, то в этом случае в формуляре сопровождения данного летательного аппарата на знакоместе текущей высоты вместо цифр высвечиваются точки:

75638 07
ЛД 15 . . .
Н

Формуляр этого летательного аппарата в течение 15 обзоров радиолокатора будет перемещаться с параметрами движения ЛА, выработанными ЭВМ. Если в течение этого времени от ответчика не придет устойчивый сигнал, то ЭВМ переведет информацию из формуляра сопровождения в табличный:

3+75638 07 ЛД 15.

У отметки летательного аппарата останется признак руководства. При поступлении от ответчика самолета устойчивого сигнала этот формуляр автоматически переводится в формуляр сопровождения. При необходимости согласования высоты входа в смежный сектор диспетчер подхода должен ввести в формуляр заданную высоту согласования и выполнить следующие операции: обратиться к формуляру данного летательного аппарата, нажать функциональную клавишу «Упр.»; нажать клавишу с буквой сектора, в которой планируется полет летательного аппарата.

При этом на СПИ диспетчера сектора «Н» при наличии формуляра сопровождения на девятом знакоместе его первой строки отображается признак «К» и у координатной метки летательного апарата начинает мигать признак «Н»:

75638 07 К
ЛД 15 А 240
«Н».

При наличии табличного формуляра в его составе на 17-м знакоместе отображается и начинает мигать признак «Н»:

3+75638 07 ЛД 15 «Н».

На СПИ диспетчера круга сектора «К» при наличии формуляра сопровождения он принимает двухстрочную полноту и на девятом знакоместе его первой строки появляется и начинает мигать признак «К», а формуляр ожидания сбрасывается:

75638 07 «К»
ЛД 15 240
Н.

При отсутствии формуляра сопровождения появляется табличный формуляр и на его 17-м знакоместе отображается и начинает мигать признак «Н»:

3+75638 07 ЛД 15 «Н»

Формуляр ожидания данного летательного аппарата автоматически сбрасывается.

Диспетчер круга при согласии принять на управление летательный аппарат обращается к формуляру данного летательного аппарата, и нажимает на функциональную клавишу «Управление».

При этом на СПИ диспетчера подхода сектора «Н» при наличии ФС и ТФ в составе прекращает мигать признак «Н»;

На совмещенном плане-индикаторе диспетчера круга сектора «К» при наличии ФС в его составе прекращает мигать признак «К», а при наличии ТФ прекращает мигать признак «Н».

Отображение на СПИ секторов «К» и «Н» имеет вид:

3+75638 07 ЛД 15 Н либо
75638 07 К
ЛД 15 240.
Н

Если воздушная обстановка не позволяет диспетчеру круга принять летательный аппарат на данной высоте, то дальнейшее согласование происходит по громкоговорящей связи.

В момент пересечения летательным аппаратом высоты $H = H_{\text{звп}} + 150$ м либо границы зоны взлета и посадки в плане у координатной его метки происходит смена признака руководства на «К», а признаки передачи управления в формулярах исчезают.

После пересечения летательным аппаратом высоты $H = H_{\text{звп}} - 450$ м либо через 10 обзоров РЛС после пролета границы секторов в плане на СПИ диспетчера подхода сектора «Н» формуляр сопровождения сокращается до признака руководства «К».

При автоматическом согласовании высоты входа летательного аппарата из сектора «Н» в сектор «К» на СПИ при пересечении высоты $H = H_{\text{звп}} + 450$ м или за 10 оборотов антенны РЛС до пролета границы сектора «К» в плане на СПИ диспетчера круга у координатной отметки появляется полный двухстрочный формуляр, а формуляр ожидания данного летательного аппарата сбрасывается:

75638 07
ЛД 12 А 165
Н.

При достижении летательным аппаратом высоты $H = H_{\text{звп}} + 150$ м или при пересечении в плане границы сектора «К» автоматически происходит смена признака руководства у отметки самолета:

75638 07
ЛД 12 А 135
К.

На высоте перехода, когда экипаж устанавливает на высотомере отсчет высоты по давлению аэродрома на СПИ отражается следующая информация:

75638 07

ЛД 6 А 90.

К.

На высоте $H = H_{зви}$—450 м или спустя 10 обзоров РЛС после пролета рубежа приема-передачи в плане на СПИ диспетчера подхода сектора «Н» формуляр данного летательного аппарата сокращается до признака руководства «К».

При пересечении летательным аппаратом, заходящим на посадку, внутреннего рубежа автосброса его формуляр сопровождения переходит в табличный формуляр и продолжает храниться в памяти ЭВМ еще 32 обзора радиолокатора. Если летательный аппарат уходит на повторный заход, то при пересечении внутреннего рубежа происходит его автоматический ввод в сопровождение.

**Контрольные вопросы**

1. Поясните порядок и содержание информации, вводимой в ЭВМ, по прилетающим летательным аппаратам.
2. Раскройте смысл и форму отображения информации на СПИ при нахождении на УВД летательного аппарата, оборудованного и не оборудованного ответчиком, при входе его в зону действия системы.
3. Поясните логику взаимодействия между смежными диспетчерскими пунктами при ручном согласовании рубежа приема-передачи.
4. Поясните логику взаимодействия между смежными диспетчерскими пунктами при автоматическом согласовании рубежа приема-передачи.
5. Опишите порядок перевода табличного формуляра в формуляр сопровождения.

## Глава 14

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УВД

### 14.1. Основные направления совершенствования процессов УВД

Главными направлениями совершенствования процессов УВД можно считать:

постоянное улучшение процессов организации УВД и, в частности, организационно-структурных процессов, связанных с обоснованной разработкой и построением структуры системы УВД, иерархической структуры службы движения;

повышение эффективности руководства о всех звеньях службы движения, взаимодействия между функционально связанными ее органами и координации межведомственных вопросов;

развитие технической оснащенности системы УВД, широкое внедрение автоматизированных систем непосредственного УВД,

оргтехники и ЭВМ при исследовании процессов и решении задач организации УВД, планировании и обеспечении полетов, а также совершенствование средств связи с применением вычислительной техники, дисплеев и таблично-знаковых индикаторов (ТЗИ) для оперативной координации и принятия решений;

совершенствование правовых норм, уровня документов и регламентов, обеспечивающих четкое взаимодействие и ответственность органов службы движения, координацию их между собой и другими ведомствами, службами и управлениями МГА;

повышение уровня подготовки, переучивания и совершенствование специалистов УВД, организация системы контроля качества их деятельности, постоянного повышения профессионального мастерства.

Перечисленные направления совершенствования процессов УВД охватывают достаточно широкий их диапазон и включают как формализуемые, так и неформализуемые процессы. Основная часть последних относится к процессам в эргатических элементах системы УВД. Основной тенденцией их совершенствования является автоматизация процессов. Совершенствование неформализуемых процессов связано с двумя основными тенденциями. Первая состоит в разработке и обосновании некоторых общих правил и принципов, применяя которые можно получить процессы, протекающие в области допустимых значений.

Вторая тенденция заключается в попытках использования новых методов и средств для построения математических моделей. Некоторые результаты, достигнутые в совершенствовании процессов УВД с учетом этих двух тенденций, состоят в том, что получены некоторые общие принципы организации работы службы движения, накоплен существенный опыт в разработке и внедрении средств автоматизации, активно развиваются методы формализации процессов в эргатических элементах.

Так, к общим принципам организации работы службы движения можно отнести: принцип комплексного решения вопросов организации службы движения, предполагающий учет разносторонних влияний наиболее существенных факторов и взаимосвязи процессов на различных этапах функционирования системы УВД; принцип единоначалия в структурной схеме организации службы движения и при определении границ ответственности за непосредственное УВД, принятие организационно-структурных решений и др.; принципы формирования диспетчерских смен, построение в них социалистического коллектива, подбора и организации работы РП и ЗНА и др.

Особую роль в совершенствовании процессов УВД играет вторая тенденция. Это объясняется, с одной стороны, наличием ряда новых подходов и методов формализации, полученных в самое последнее время, а с другой — важностью, которая характерна для процессов в эргатических элементах системы и возможностью их автоматизации. Среди активно развивающихся методов формализации процессов в эргатических элементах системы УВД можно

назвать методы, содержащие попытки формализации организационных функций руководящего звена службы движения (руководителей диспетчерских смен и др.). Попытки формализации организационных функций, например, руководителя диспетчерской смены (старшего диспетчера, руководителя полетов, ЗНА) содержат более общие модели, способные описывать процессы типа организационных функций руководителя коллектива операторов любой информационной системы [161, 162]. Качество решения руководителем организационных задач в условиях осуществления непосредственного УВД, процессы которого носят большей частью информационный характер, определяют собой уровень психологического взаимодействия в коллективе. Совокупности простейших контуров системы УВД, объединяемых под руководством одного руководителя диспетчерской смены, либо совокупности рабочих мест обучаемых на тренаже операторов, находящихся под наблюдением одного инструктора и т. д., сводятся к информационной системе (рис. 14.1). На рисунке условно показаны диспетчеры-операторы простейших контуров системы УВД ($1 \div N$) и руководитель полетов (РП), технические средства которого (предполагая, что в идеальном случае это достигнуто) позволяют контролировать состояние динамической воздушной обстановки в каждой из $N$ зон УВД, связываться с любым из $N$ диспетчеров по линии связи и прослушивать радиообмен.

Таким образом, совокупность простейших контуров объединяется в простейший «социотехнический» контур системы УВД, эргатическим элементом которой служит диспетчерская смена с ее руководителем во главе. Аналогичная схема характерна и для любой другой полиэргатической информационной системы и для системы обучения операторов в том числе (см. рис. 8.1).

Общие требования к руководителю диспетчерской смены можно получить, если пользоваться неформализованными терминами из следующих рассуждений.

Подготовка диспетчеров к активным действиям в процессе УВД вместе с формированием методов поведения и эмоциональной устойчивости предполагает обучение и отработку коллективных действий всей диспетчерской смены при условии персональной ответственности.

Важнейшей стороной групповой деятельности является коммуникабельность членов коллектива, т. е. психологическая совместимость. Это, в свою очередь, обусловливается теми взаимоотношениями, которые складываются в коллективе диспетчерской смены.

Формирование коллектива диспетчерской смены — ответственный и сложный процесс, который должен происходить постоянно и прежде всего посредством воспитательной деятельности ее руководителей. Большое значение здесь имеет личность руководителя смены, его авторитет. Психологическую основу авторитета определяет комплекс качеств, среди которых наиболее значимыми являются: идейная убежденность; партийная принципиальность; настойчивость и решительность при использовании служебных обязан-

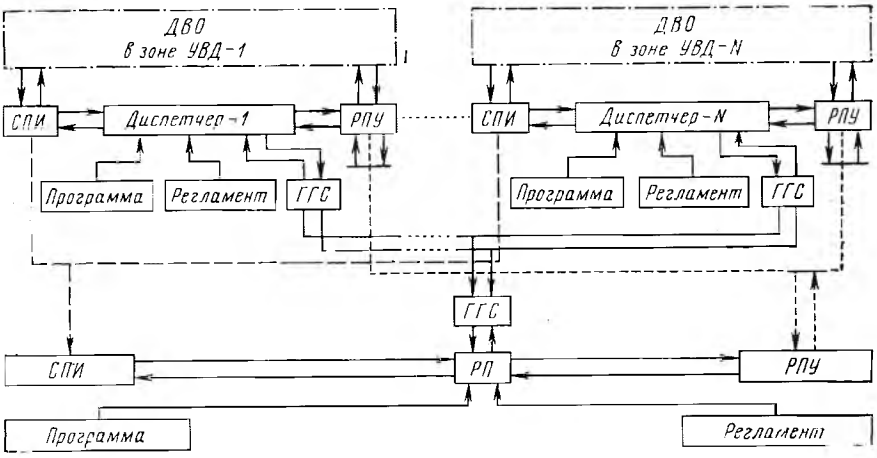



Рис. 14.1. Простейший полиэргатический социотехнический контур системы УВД

ностей; требовательность к себе и подчиненным; необходимый педагогический такт. Эти качества должны воспитывать в себе руководители полетов, старшие диспетчеры. Кроме того, немаловажную роль для сплочения и организации коллектива играет знание ее руководителем основ общей и инженерной психологии, умение применить эти знания на практике.

Решение проблемы групповой деятельности диспетчерского состава основывается на использовании рекомендаций социально-психологических исследований для малых коллективов и трудовых групп, а также на структуировании деятельности диспетчеров и моделировании их поведения как многоканальной системы массового обслуживания.

Известно, что организационные задачи руководителя решаются обычно путем применения принципов действия руководителя традиционных малых производственных групп или непосредственным воздействием на оператора через имеющиеся технические средства в процессе осуществления УВД [163]. К основным элементам множества специфических форм реализации организационных функций руководителя относятся: оперативный контроль действий любого оператора; разгрузка или исключение ряда операторов, действия которых кажутся руководителю неуверенными, либо неквалифицированными; оперативное перераспределение задач между операторами; оперативная корреляция ошибочных действий операторов; информирование операторов об эффективности или результатах их действий и др.

Сущность перечисленных функций руководителя такова, что зачастую требует от него значительного быстродействия, т. е. практически мгновенной реализации принятия решения. Ошибки его действий имеют отрицательное значение. Эти обстоятельства и определяют необходимость исследования организационных функ-

ций руководителя, целесообразность их формализации, обеспечивающей алгоритмизацию хотя бы рутинной, нетворческой части его функций, подготовку значительной части информации и решений, выступающих в качестве «подсказки» руководителю.

При анализе процессов УВД и функций руководителя выясняется существенная неопределенность условий, в которых должна протекать целенаправленная их деятельность. При этом наблюдается отсутствие алгоритма достижения целей и отсутствие показателей эффективности, характеризующих выбор образца действий и др. Все это свидетельствует о крайней трудности формализации организационных функций руководителя.

Из анализа информационно-командных связей между элементами «диспетчер-S» и «РП» такого простейшего «социотехнического» контура системы УВД, объединяющего простейшие замкнутые контуры управления, следует, что функционирование его связано с наличием непрерывной потребности в выполнении определенного вида функций контроля со стороны РП, ответов его на запросы диспетчеров, поступающих в неопределенные моменты времени и с неопределенной частотой. Поэтому одной из основных организационных функций служит функция удовлетворения поступающих или требующихся в силу создавшихся условий запросов диспетчеров на определение эффективных решений в рамках данной конкретной динамической воздушной обстановки в зоне УВД. Иными словами, речь идет об организации наилучшего управления в иерархической системе, имеющей вероятностные характеристики входных и выходных процессов, параметров управления и величин потерь.

Для формализации процессов в такой системе сделаем ряд допущений. Пусть, например, суммарный поток запросов, поступающих к РП от всех диспетчеров, близок к пуассоновскому с интенсивностью $\lambda$. Кроме того, считаем, что контроль ДВО в зонах УВД со стороны РП и требование к нему диспетчера позволяют дать информацию о причине его возникновения и виде требуемого вмешательства РП, т. е. о виде требуемой согласно данному запросу его функции. Количесво видов таких функций считается конечным и образующим множество

$$\Phi = \{f\}. \tag{14.1}$$

Вероятность выбора определенного вида функции обозначается $P_f$. Условие что РП может заниматься только одним требованием, или отсутствие у РП двух и более каналов обслуживания требований диспетчеров можно представить в виде

$$\sum_{f \in \Phi} P_f - 1 = 0. \tag{14.2}$$

В силу этого могут возникнуть очереди, характеризуемые длиной (временем ожидания) $\tau_f$ каждого из них, т. е. образуется вектор:

$$\tau = \{\tau_f,\ f \in \Phi\};\ \tau = \{\tau\}. \tag{14.3}$$

Длительность выполнения РП функции $f$ по требованию определяется функцией распределения $F_f(t)$. При этом допускается, что длительности выполнения различных функций независимы между собой и не зависят от входящего потока требований.

Переключение РП с выполнения одной функции на другую определяется управлением $u(\tau)$. Необходимо найти такое управление, т. е. такую функцию переключения $u(\tau)$, при которой потери в системе, определяющиеся наличием очереди, будут наименьшими. Для определения величины таких потерь необходимо ввести коэффициенты веса (стоимости) ожидания каждого из видов требований $\omega$. Тогда величина средних потерь за время $[t_0, T]$ определяется показателем вида

$$J_\Sigma(\tau) = \frac{1}{T - t_0} \int_{t_0}^{T} \left( \sum_{\tau} \sum_{f} \omega_f \tau_f P\{\tau(t) = \tau\} \right) dt. \qquad (14.4)$$

Оптимальным управлением, т. е. подсказкой РП, каким образом осуществлять переключение функций $f$, будет такая функция $u^*(\tau)$, которая найдется из решения следующей синтезированной из (14.1) — (14.4) стохастической задачи оптимизации:

$$\min_{u(\tau) \in G_u} \{J_\Sigma(\tau) / \tau \in T;\ \sum P_f - 1 = 0;\ f \in \Phi\}. \qquad (14.5)$$

Методы исследования подобного вида задач известны [14, 28, 54]; чаще всего здесь используется метод статистического моделирования [14]. Решение подобной задачи известно и составляет основной результат раздела теории массового обслуживания, касающейся систем с разделенным временем, т. е. с последовательной реализацией видов обслуживания [54, 164]. Результаты решения задачи позволяют найти некоторые общие выводы и рекомендации для подобного вида систем.

Главные из них состоят в том, что для каждой конкретной системы, т. е. простейшего полиэргатического социотехнического контура информационной системы и системы УВД, в том числе: существует оптимальное управление в виде функции переключения руководителя на выполнение определенных функций, число которых конечно; оптимальное управление обеспечивает наименьшее значение функции потерь $J_\Sigma(\tau)$, физический смысл которых связывается обычно с оценкой эффективности действий операторов — диспетчеров УВД; даже наилучшее оптимальное управление все же допускает наличие определенного значения потерь; реализация оптимального управления осуществляется путем алгоритмизации решения задачи (14.5) с помощью ЭВМ и выдачи его на дисплее РП в виде «подсказки».

Таковы основные моменты, характерные для реализации одной из формализаций процессов на пути совершенствования эргатических систем УВД. Понятно, что формализация других процессов, также связанных с эргатическими элементами системы УВД, отно-

сящимися к другим, уже не руководящим ее уровням, требует других методов, более соответствующих физической природе процессов именно в этих элементах.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные направления совершенствования процессов УВД и укажите взаимосвязь их с развитием эргатических элементов системы УВД.
2. Какие две тенденции характерны для совершенствования процессов в эргатических элементах системы УВД.
3. Назовите и обоснуйте общие принципы организации работы службы движения.
4. Дайте общую характеристику методов формализации функций деятельности руководителя коллектива операторов.
5. Приведите блок-схему простейшего полиэргатического социотехнического контура системы УВД и поясните с их помощью основной смысл организационных функций руководителя полетов.
6. В чем состоит основной смысл задачи формализации процессов деятельности РП?
7. Перечислите общие выводы и рекомендации, которые могут быть получены при исследовании задач оптимизации функций руководителя.

## 14.2. Анализ и идентификация процессов в эргатических элементах системы УВД

Одним из основных условий функционирования системы УВД является обеспечение безопасности полетов. Решение проблемы обеспечения безопасности полетов, в свою очередь, не может быть найдено без всестороннего комплексного подхода к анализу факторов и обстоятельств нарушений условий безопасности полетов.

Динамическая воздушная обстановка (ДВО), определяемая движением большого числа летательных аппаратов, организацией траектории их полета, метеорологическими условиями и другими факторами, становится чрезвычайно сложной. Таким образом, анализ путей совершенствования процессов в системе УВД должен учитывать возросшую сложность. Это требует новых подходов к совершенствованию процессов УВД. Одним из таких подходов может служить подход, связанный с развитием средств и методов идентификации процессов в простейшем контуре УВД. Действительно, зная все характеристики подобных процессов, можно однозначно решать вопросы их совершенствования. Такой подход является одной из составных частей основных направлений совершенствования процессов УВД.

Один из возможных вариантов указанного подхода заключается в анализе применения лазерных траекторных измерений (ЛТИ) с целью идентификации процессов УВД. При использовании лазеров в системах УВД можно выделить два принципиально различных подхода. Один из них связан с применением лазеров в виде визуального источника интегральной информации о положении летательного аппарата относительно ВПП, передаваемой пилоту при заходе на посадку. Таким источником интегральной информации служит, например, специально расположенная в зоне взлета и по-

садки система лазерных излучений видимого диапазона. Обладая свойствами когерентности и релеевского рассеяния, такая система лазерного излучения видна пилоту на дальности, превышающей «метеорологическую» дальность видимости примерно в 6 раз. Подобный принцип использует отечественная лазерная система посадки «Глиссада» [176].

Другой подход состоит в использовании принципа лазерных локационных измерений траектории полета ЛА. В этом случае диапазон применения ЛТИ в системах УВД и посадки очень велик и охватывает следующие проблемы [174—175]: контроля работы радиотехнических (радиолокационных) систем воздушной навигации, УВД и посадки; контроля работы и идентификации параметров элементов простейшего контура системы УВД (включая и такие его элементы, как диспетчер и пилот); оценки, прогноза и оптимизации траекторий полета летательных аппаратов в данной зоне УВД и др.

Понятно, что решение любой из перечисленных проблем связано со значительными трудностями структурного и организационного характера, технологическими и техническими трудностями, а также с решением задач выбора и обоснования алгоритма обработки результатов измерений и др. Наметившаяся в последнее время тенденция интеграции оптимизационных методов позволяет остановиться на описании общих черт лишь какой-либо одной из перечисленных задач, получая при этом некоторое представление и о других. Так, в системах УВД при анализе основных направлений совершенствования процессов значительный интерес вызывает задача идентификации параметров и элементов.

Качество принятия решений на всех этапах функционирования системы УВД в значительной степени определяется уровнем знания моделей управляемого процесса. Для построения моделей и идентификации параметров элементов систем могут быть использованы измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) автоматизированных систем УВД (АСУВД), в качестве элементов которых взяты радиолокационные станции (РЛС), ЛТИ и ЦВМ [174]. Центральное место среди возникающих при этом задач занимает совокупность задач алгоритмического обеспечения такого ИВК АС УВД. При этом в данной совокупности наряду с задачами разработки рациональных параметров обработки измерительной информации существенную роль играют и некоторые задачи организации измерений, такие, как задача рационального размещения средств измерения — РЛС и ЛТИ, т. е. задача оценки и выбора такого расположения указанных средств измерения, при котором идентификация параметров элементов простейшего контура системы УВД решается наилучшим в заданном смысле образом.

Одна из важнейших задач идентификации параметров движения летательных аппаратов — задача оценки и прогноза положения летательного судна в конечном итоге состоит в следующем. Пусть положение летательного аппарата на программной траектории, геометрические характеристики которой известны, измеря-

ется в виде ряда значений $q_i(x)=(q_{1i}(x), ..., q_{ni}(x)$ вектора состояния $i$-го измерения процесса движения летательного аппарата в области $X\in L_x$:

$$q_i(x)=y_i(x)+\xi(x),$$

$$(i=\overline{1, N_j}), \tag{14.6}$$

где $X=(x_1', ..., x_s')$ — вектор обобщенных координат программного движения летательного аппарата; $y_i(x)$ — истинное значение измеряемых величин; $\xi_i(x)$ — неизвестный вектор шума; $N_j$ — число измерений по каждой из координат.

Представим истинные значения с помощью модели, взятой в виде полинома:

$$y_i(x)=\sum_{k=1}^{n} p_{ik}\psi_{ik}(x), \tag{14.7}$$

где $\psi(x)$ — известные функции.

Кроме полиноминального представления функций $y_i(x)$ в системе УВД могут использоваться и другие. Однако, учитывая простоту полиноминальной модели и асимптотическую ее безупречность, очень часто используется полиноминальное представление [36]. Предположение о целесообразности такого выбора модели подтверждается теоремами Вейерштрасса и Чебышева [36, 177] и результатами, полученными в теории приближения функций и идентификации динамических вопросов [178, 179].

Возникают задачи о наилучших оценках и прогнозах траекторной информации о движении летательных аппаратов, т. е. задачи о таком выборе и назначении всех подвластных исследователю параметров в модели вида (14.7), при которых оценка и прогноз положения летательных аппаратов будет наилучшим в определенном заданном смысле.

В качестве таких параметров — управлений качеством оценки и прогноза могут выступать: параметры модели $p_{ik}$ при заданных значениях $n(\text{и}N_j)$; характеристика функций $\psi_{ik}$; значения общего числа измерений $N_j$ и числа измерений в конкретных точках $x_{jl}$ $(j=\overline{1, s};\ l=\overline{1, n})$; $r_l=\varkappa_l N$, где $r_l$ — число измерений в $x_{jl}$, а $\varkappa_l$ — частота измерений в $l$-й точке (весовой коэффициент).

Обычно в задачах оптимизации оценок, фильтрации и прогнозирования считают, что ошибки измерений $\xi_i(x)$ носят гауссовский характер, т. е. имеют нормальное либо близкое к нему распределение с нулевым математическим ожиданием, дисперсией, независящей от $x_{jl}$ (номера измерений), некорелированными между собой и независимыми от значений $p_{ik}$ и $\psi_{ik}$ ошибками [179, 180]. В таких предположениях, справедливых в известной степени и для ИВК с РЛС и ЛТИ, наилучшие, т. е. оптимальные, значения параметров $p_{ik}$ и $\psi_{ik}$ определяются по результатам оптимальной калмановской фильтрации [180, 181] или некоторых эвристических процедур [182].

Задача определения общего необходимого числа измерений либо чисел $x_l$ и точек их расположения в области $L_x$ является менее распространенной. Решение подобной задачи может быть получено несколькими различными способами, одним из которых является процедура оптимального планирования экспериментов [183]. Результаты решения при этом должны быть инвариантны к способу их получения, и поэтому проверка условий наилучшей наблюдаемости процессов должна быть эквивалентна проверке условий наилучшей обусловленности матрицы Фишера для данного случая измерений характеристик процесса [56, 184]. При решении задачи прогноза в виде определения в заданный момент точки, в которую экстраполируется процесс, процедуре планирования экспериментов предпочитается расчет $x_{il}$ и $\varkappa_l$ с помощью определения полинома Лагранжа [225]. Если же предположений относительно закона распределения ошибок не делать, то наилучшие значения $p_{ik}$ и $\psi_{ik}$ находят с помощью метода наименьших модулей [36, 58].

Выбор наилучших управлений параметров модели вида (14.7) можно осуществить на основе результатов теории приближения функций [185—187] или базируясь на применении разработанной теории сплайн-апроксимации [226—228]. При этом некоторые результаты сводятся к следующему.

Если считать число точек текущих измерений $N_j$ достаточно большим, то в качестве модели вида (14.7) можно использовать и выражение:

$$\varphi_N^{(1)}[q_i(x)] \approx \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{k=1}^{N} p_{ik} \psi_{ik}[x(i)], \qquad (14.8)$$

где функция характеризует собой возможный вид обработки результата измерений или какую-либо физическую характеристику траекторий полета летательных аппаратов.

Наилучшими значениями параметров $p$ и точек $x(i)$ для одномерного процесса $k=1$ (например, оценки и прогноза бокового отклонения летательного аппарата от оси трассы) и нормального распределения ошибок измерений считаем также $p^*$ и $x^*(i)$, при которых наибольшие по модулю ошибки будут наименьшими:

$$\min_i \min_{p(x)} \left| \varphi_{N=N}^i[q_i(x)] - \sum_{i=0}^{N-1} p_i \psi[x(i)] \right| = \min_{p(x)} J_N^{(1)}. \qquad (14.9)$$

По результатам исследований, а также на основании обзора результатов других публикаций вытекают следующие основные рекомендации. В перспективных системах АС УВД целесообразно комплексирование радиотехнических средств УВД и лазерных траекторных измерительных систем. При этом в качестве одного из основных алгоритмов математического обеспечения измерительно-вычислительных комплексов АС УВД и ЛТИ целесообразно использовать оптимизационные алгоритмы решения статических задач типа параметрического линейного программирования.

**Контрольные вопросы**

1. Чем обосновывается важность задачи идентификации процессов в простейшем контуре системы УВД?
2. Приведите пример словесной постановки задачи определения параметров и характеристик элементов простейшего контура и обоснуйте необходимость использования при этом ЛТИ.
3. Какие основные направления использования лазеров в системах УВД и посадки известны?
4. Сформулируйте общую задачу идентификации параметров в простейшем контуре системы УВД.

## 14.3. Вопросы совершенствования деятельности диспетчера в процессе непосредственного УВД

Анализ процессов в системе УВД с целью их автоматизации неизбежно приводит к необходимости анализа процессов деятельности диспетчера. Совершенствование их деятельности имеет множество направлений. Особое значение на этапе автоматизации процессов приобретает совершенствование деятельности оператора, связанное с расширением его возможностей как в области смещения порогов сенсорной чувствительности операторов по необходимым в данном случае каналам восприятия, так и в области функциональных возможностей оператора в поиске наилучших решений за счет организации диалогового режима его работы с ЭВМ.

При изучении работы оператора в режиме обнаружения было установлено, что из всего многообразия физических воздействий, отражающих и характеризующих процессы в системе УВД, оператору доступна при восприятии лишь малая их часть. Поэтому для расширения возможностей диспетчера используется набор датчиков информации, которая выводится на единый совмещенный пульт-индикатор СПИ АС УВД. Здесь осуществляется преобразование физических явлений так, чтобы они стали доступными для сенсорных восприятий человека. Сенсорная область человека характеризуется нижним и верхним абсолютными порогами, за пределами которых ощущения отсутствуют. Известно, что субъективная оценка параметров сигналов оператором носит нелинейный характер, т. е. увеличение, например, частоты звукового тона в 2 раза не соответствует увеличению в 2 раза высоты слышимого оператором звука. Таким образом, задача обнаружения сигнала решается оператором в субъективном сенсорном пространстве, свойства которого еще изучены недостаточно, чтобы давать рекомендации по профессиональному отбору и тестовой проверке операторов перед сменой и др.

Сенсорное пространство (гл. 2) моделирует объективное пространство сигналов гомоморфным образом. Поведение оператора, характеризующееся с помощью таких параметров, как время запаздывания, точность воспроизведения, надежность восприятия и других, не строго определено и носит явно выраженный стохастический характер. Параметры оператора зависят от множества факторов, к

которым в первую очередь следует отнести параметры сигнала и вероятностные его свойства. Структура поведения оператора при этом зависит от поставленной перед ним задачи по обнаружению его отношения к этой задаче, от качества инструкции и многих других факторов. Сложность моделирования данного процесса состоит еще и в том,что полная количественная оценка информации в случае приема ее оператором пока не осуществима из-за отсутствия оценок понятий смысла, значимости и ценности информации.

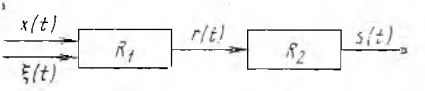



Рис. 14.2. Структура функционирования оператора в режиме обнаружения

Если попытаться представить структурную схему работы оператора в режиме обнаружения, то можно выделить совокупность функционирующих блоков, преобразующих сигнал и шум (рис. 14.2). Здесь приведены следующие обозначения: $s(t)$ — сигнал в виде случайной функции; $\xi(t)$ — обозначение шума, в качестве модели которого чаще всего применяют случайные функции; $R_1$ — функциональный оператор отображения физического сигнала $x(t)$ в сенсорное восприятие диспетчера $r(t)$; $R_2$ — функциональный оператор принятия решений, понимаемый часто, как пороговый оператор, преобразующий воспринятый сигнал в определенное суждение. Данный режим работы диспетчера характеризуется наличием наблюдений, состоящих из (моделирующихся) случайных процессов, один из которых является сигналом, а другой — помехой. Как правило, известна информация о сигнале и помехах в виде априорных вероятностей $P(x)$ и $P(\xi)$. Результаты наблюдений оцениваются апостериорными вероятностями: $P(x/r)$ и $P(\xi/r)$ (см. гл. 8). В процессах непосредственного УВД от оператора в конечном итоге требуется на основании анализа характеристик стохастических сигналов и помех дать вполне определенный детерминированный ответ, являющийся результатом принятия решения оператором о природе принятой информации. Такой ответ можно представить в виде одного из четырех возможных исходов:

решение о наличии сигнала, когда он есть на самом деле; вероятность для данного случая ответов оператора — $P(x/x)$;

решение о наличии сигнала, когда его нет — $P(x/\xi)$;

решение об отсутствии сигнала, когда он есть на самом деле — $P(\xi/x)$;

решение об отсутствии сигнала, когда его нет — $P(\xi/\xi)$.

Для всех введенных вероятностей справедливо выражение $P(x/x)+P(\xi/x)=1$. Это свидетельствует о том, что при наличии сигнала оператор имеет возможность выбрать с различной частотой только один из двух ответов. Аналогично:

$$P(x/\xi)+P(\xi/\xi)=1;\ P(x)+P(\xi)=1. \qquad (14.10)$$

Таким образом, в вероятностной ситуации оператор должен дать детерминированный ответ. Для оценки оптимальности деятельности

Таблица 14.1

**Таблица значимости и вероятностей решений оператора в различных ситуациях**

| Решения | Ситуации | |
|---|---|---|
| | $x$ | $\xi$ |
| $x$ | $\omega_{11}$, $P_{11}$ | $\omega_{12}$, $P_{12}$ |
| $\xi$ | $\omega_{21}$, $P_{21}$ | $\omega_{22}$, $P_{22}$ |

диспетчера в режиме обнаружения необходимо ввести коэффициенты веса для всех четырех различных решений: $\omega_{ij}$ $(i, j=\overline{1, 2})$, где, например, $\omega_{11}$ весомость (цена) первого решения и т. д. (табл. 14.1). Тогда появляется возможность оценить как значимость правильных решений, так и цену потерь из-за ошибочных. Поэтому «идеальный» оператор должен с помощью своих решений максимизировать величину, определяющую правильные ответы, и минимизировать величину, определяющую ошибочные. Математической моделью тогда может служить выражение общего ожидаемого выигрыша, взятого в виде общего показателя эффективности:

$$J_{\Sigma} = \omega_{11} P(x/x) + \omega_{22} P(\xi/\xi) + \omega_{12} P(x/\xi) + \omega_{21} P(\xi/x) = \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{2} \omega_{ij} P_{ij}. \tag{14.11}$$

В этой формуле знаки коэффициентов $\omega_{ij}$ учитывают «направление» оптимизации. При некоторых упрощениях, отражающих определенный подход к оценке решений оператора, показатель (14.11) сводится к известным критериям. Например, критерий Байеса, использующийся для оценки функции среднего риска решения, может быть получен из формулы (14.11), если учесть лишь цены потерь из-за пропуска сигнала $\omega_{21}$ или ложной тревоги $\omega_{12}$, а правильные решения не принимать в расчет:

$$J_{\Sigma}^{(1)} = \omega_{21} P(\xi/x) + \omega_{12} P(x/\xi). \tag{14.12}$$

В этом случае у оператора вырабатывается значение порога, пропорциональное отношению априорных вероятностей (8.17). Вводя коэффициенты веса $\omega_{ij}$, получим

$$l_s = \frac{P(\xi)\,\omega_2}{P(x)\,\omega_1}, \tag{14.13}$$

где $\omega_2 = \omega_{21} - \omega_{11}$; $\omega_1 = \omega_{12} - \omega_{22}$.

Для диспетчера УВД характерно положение, когда правильные ответы практически не поощряются так как считается, что так и должно быть, а неверные ответы строго учитываются. Поэтому чаще всего здесь справедливо неравенство

$$\omega_{21},\ \omega_{12} \gg \omega_{11},\ \omega_{22}.$$

Величина среднего риска дает справедливую оценку лишь в случае обработки результатов большого числа экспериментов. Результаты, близкие к результату формулы (14.13), получаются при использовании критерия Котельникова для минимизации (невзвешенной оценки, $\omega_1=\omega_2=1$) общей ошибки обнаружения или критерия Неймана-Пирсона, при котором минимизируется одна из ошибок приема, например число пропусков сигнала, в то время как другая ошибка остается фиксированной меньше наперед заданного числа. При анализе экспериментальных данных по обучению операторов выявилось, что нетренированный оператор начинает работу, используя в качестве оптимизирующего критерий Неймана-Пирсона

$$J_{\Sigma}^{(2)}=P(\xi/x)\to\min \qquad (14.14)$$

при фиксированном уровне ложных тревог $P(x/\xi)\leqslant k$.

При дальнейшей тренировке оператор переходит к критерию вида (14.12) или (14.11), постепенно адаптируясь к оценкам $\omega_{ij}$ и априорным вероятностям, вырабатывая критическое значение отношения правдоподобия.

Если значения $P(x)$ и $P(\xi)$ неизвестны, то единственным разумным критерием является минимальный характеризующий выбор решения из условия минимума максимального риска вида (14.12).

Выражения (14.11), (14.13) показывают возможности моделирования процесса деятельности оператора в режиме обнаружения с помощью методов теории статистических решений. Ясно, что некоторые полезные результаты здесь могут быть получены и при использовании теории самонастраивающихся систем процесса адаптации, обучения и обучающихся машин [31, 126, 130, 143].

Алгоритм деятельности диспетчера при оценке вариантов решений и выбора одного из них может быть построен для различных конкретных ситуаций в виде, например, структурно-логической схемы (см. гл. 10—12).

Для разработки подобного алгоритма необходимо рассмотреть возможные методы и процедуры формирования, проверки, сравнения и отбора предположений относительно качества решений диспетчера. Если у диспетчера не существует какой-либо априорной информации о качестве (исходе) каждого варианта сравниваемых решений, то единственным способом поиска наилучшего из них является случайный равновероятный выбор или последовательный перебор вариантов решений. При этом в случае наличия априорной информации о качестве вариантов либо методов ее получения такой алгоритм должен давать однозначный вывод относительно выбора варианта решения. Наиболее часто встречающимся в практике УВД является промежуточный случай, когда имеется неполная информация о качестве выбора и ее необходимо использовать для сокращения самого процесса перебора или организации целенаправленного пошагового процесса поиска [107].

Рассмотрим один из возможных вариантов построения алгоритма для организации рационального диалогового режима работы диспетчера и ЭВМ.

Пусть задано множество $G_u$ возможных вариантов решений $u_i$ $(i=\overline{1, n})$, принимаемых диспетчером в процессе непосредственного УВД. Здесь под решением понимается $u_i=(u_{i1}, \ldots, u_{in})'$ последовательность $G_u$ решений, т. е. $u_{ij}$ — локальные действия решения, характерные для данной $t$-й ситуации. Множество $G_u$ разбивается по каким-либо признакам на подмножества $G_u^{(s)}$.

При этом известна совокупность показателей эффективности решений

$$J_\Sigma(u_i)=J_\Sigma(J_1, \ldots, J_\mu), \tag{14.15}$$

в соответствии со значениями которых решения диспетчера $u_i$ можно отнести к области допустимых, если совокупность заданных частных показателей оказывается в области $G_I$:

$$J_\nu(u_i) \in G_I. \tag{14.16}$$

Аналогично сравнение значений показателей (14.15) позволяет определить понятие оптимального решения $u_{is}=u_{is}^*$, если $J_\Sigma(u_i^*)$ достигает наилучшего значения (верхнего или нижнего в зависимости от смысловой нагрузки).

Основная задача диспетчера состоит в отборе некоторого подмножества $G_u^{(s)}$, в котором по его мнению с наибольшей вероятностью может оказаться допустимое или оптимальное решение. Для этого он принимает некоторые предположения о ситуации, классифицирует динамическую воздушную обстановку и т. д.

Пользуясь выдвинутыми предположениями, диспетчер и производит ранжирование подмножеств $G_u^{(s)}(s=1, 2, \ldots, m)$, например по убыванию эвристической оценки перспективности, выражаемой в виде модели функции

$$F[G_u^{(s)}(u_i)], \ (s=\overline{1, m}). \tag{14.17}$$

Затем для подмножества $G_u^{(1)}$, на котором достигается наивысшая эвристическая оценка (14.17), с помощью машинной процедуры вычисляется и оценивается область допустимых решений (14.16) и база показателя (14.15), после чего определяется наилучшее из них, принимаемое за локально-оптимальное $u_{is}^*$. После сравнения элементов некоторого ряда таких решений одно из полученных локально-оптимальных решений принимают за оптимальное уже при повторении предположений и эвристической оценки наилучшего множества $G_u^{(2)}$.

Опишем сначала машинную процедуру оценки и отбора решений из подобласти перспективных, например, на $k$-м шаге эвристического поиска. Это значит, что диспетчер снова с помощью выдвинутых предположений отобрал подмножество $G_u^{(k)}(u_i)$, из которого необходимо выбрать наилучшее.

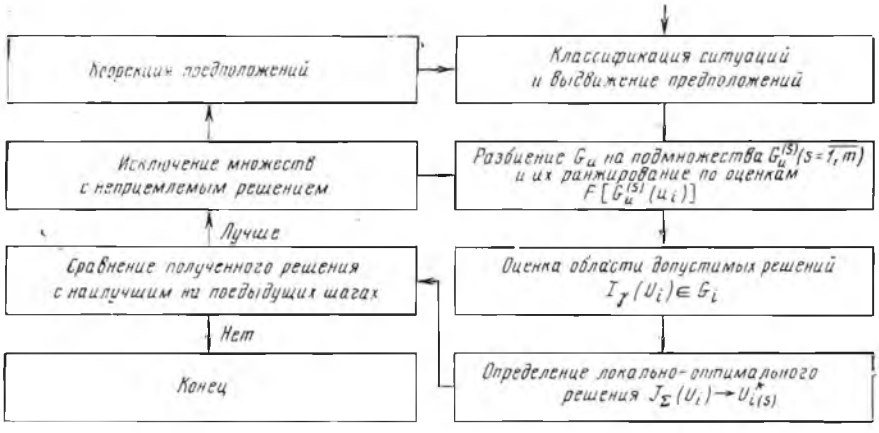



Рис. 14.3. Общая блок-схема алгоритма диалогового режима работы диспетчера с ЭВМ

Пусть известны вид и число частных показателей эффективности для оценки решений. Тогда состояние процесса оценки в ЭВМ определяется матрицей

$$M=\{I_{ji}^{(k)}\}, \tag{14.18}$$

где $j=\overline{1,\ \mu_k}$ — число показателей на $k$-м шаге поиска; $i=\overline{1,\ n_k}$ — число сравниваемых локальных решений $u_{ik}$.

Частные показатели считаются приведенными к безразмерному виду и такими, что в случае положительного эффекта (целесообразности) принятого решения $I_{ji}^{(k)}(u)\geqslant 0$, с нормировкой $1\geqslant I_{ji}^{(k)}(u)\geqslant 0$ и $I_{ji}^{(k)}<0$ в противном случае. Для учета «предыдущего» опыта в принятии решений и возможности коррекции знака частных показателей вводятся коэффициенты веса так, что

$$J_{\Sigma i}^{(k)}=\sum_{j=1}^{\mu_k}\omega_j^{(\bar{k})}I_{ji}^{(\bar{k})}, \tag{14.19}$$

где $\omega_j^{(k)}$ — весовые коэффициенты $(-1\leqslant\omega_j^{(k)}\leqslant 1)$.

Положительный знак при коэффициенте свидетельствует о правильном выборе знака частного показателя в прошлом на $(k-1)$-м, $(k-2)$-м и других более ранних шагах «поиска». Преобразуя с помощью любой неотрицательной монотонно возрастающей функции $F(J)$ значение показателя $J_{\Sigma i}^{(k)}$.

$$f_i^{(k)}=F(J_{\Sigma i}^{(k)})\geqslant 0,$$

можно оценить некоторое распределение вероятности степени удачности выбора каждого из решений

$$P^{(k)}=(P_1^{(k)},\ \ldots,\ p_n^{(k)},\ldots,\ p_n^{(k)});\ p_i^{(k)}=\frac{F_i^{(k)}(J_{\Sigma i}^{(k)})}{\sum\limits_{\nu=1}^{i}F_\nu^{(k)}(J_{\Sigma i}^{(k)})}. \tag{14.20}$$

Наилучшим решением $u_k^*$ тогда будет решение, дающее наибольшее значение вероятности $P^{(k)}$

$$u_{ks}^* = \{u_{ks}/\max_i p_i^{(k)}\}, \text{ т. е. } p_s^{(k)} - p_{s+1}^{(k)} \leqslant 0;\ p_s^{(k)} - p_{s-1}^{(k)} \geqslant 0. \quad (14.21)$$

Описанный вариант алгоритма диалогового режима работы диспетчера и ЭВМ при выборе и оценке решений (рис. 14. 3) может быть использован не только на этапе непосредственного УВД, а также при оценке вариантов решений при согласовании и координации планов полета на этапе планирования и обеспечения полетов, при сравнении и отборе вариантов решений на этапе организации УВД.

**Контрольные вопросы**

1. Чем объясняется необходимость в совершенствовании деятельности диспетчера?
2. Дайте общую характеристику диспетчера как оператора, работающего в режиме обнаружения сигнала.
3. Приведите структурную схему и запишите показатель эффективности работы диспетчера в режиме обнаружения сигнала.
4. Какие критерии служат частными случаями общего показателя эффективности и как изменяются оценки при дальнейшем тренаже диспетчера?
5. Поясните общий смысл алгоритма диалогового режима работы диспетчера.
6. Какие выводы можно сделать относительно перспектив совершенствования деятельности диспетчера?

## 14.4. Требования к методам синтеза эргатических систем УВД

Среди основных направлений совершенствования процессов УВД одну из центральных ролей играет развитие технической оснащенности системы УВД, включающее внедрение автоматизированных систем непосредственного УВД (АС УВД), организации УВД, планирования и обеспечения полетов. Однако в любом из вариантов использование технических средств УВД должно учитывать специфику такого элемента простейшего контура УВД, как человек, который имеет характерные для него диапазоны восприятия сигналов, определенную пропускную способность и другие особенности. Уже накоплен известный опыт внедрения технических средств, получен определенный перечень требований, отвечая которому техническое устройство и человек-оператор наиболее удачно объединяются в рамках простейшего контура УВД. Вопросы определения очередности автоматизации отдельных процессов и рациональной степени их автоматизации, а также рационального распределения функций между человеком-оператором и техническими устройствами до сих пор остаются предметом исследования. Полное и удовлетворительное решение перечисленных вопросов возможно лишь при разработке и использовании адекватных процессам по сложности методов целостного синтеза эргатических систем либо таких наименьших, но

сохраняющих еще основные свойства их элементов, как простейший контур. Целостность понимается при этом как требование подхода к таким системам, как к единому функциональному звену, а не в виде ряда положений, позволяющих оценить лишь составляющие систему параметры. Отсутствие требуемых методов обусловило такое положение, когда при проектировании перспективных автоматизированных систем УВД часто еще автоматам поручаются те операции, которые можно автоматизировать на современном этапе развития техники, а диспетчеру оставляют те функции, с которыми пока еще не могут справиться технические устройства. Идеальным завершающим этапом такого подхода является ситуация, когда диспетчер в простейшем контуре остался бы лишь в роли резервного звена, что служит примером нарушения принципа «активного оператора». В соответствии с данным принципом для повышения готовности оператора к экстренным действиям в случае отказов автоматических устройств для него целесообразно оставить выполнение ряда функций управления, к которым относятся также оценка и прогноз динамической воздушной обстановки либо аналогичные другие функции, способствующие быстрейшему «вхождению» диспетчера в процессе УВД.

Отсюда вытекает и ряд требований к методам синтеза эргатических систем УВД. Оборудование пультов диспетчерских пунктов АС УВД и характер информации, представленной диспетчеру на индикаторных устройствах, должны давать ему наибольшую возможность проявлять свои способности по осуществлению прогноза, накоплению опыта, обучению и адаптации.

Задачи, решаемые диспетчером, и операции, им выполняемые, должны носить последовательный характер: в редких случаях должна допускаться параллельность в решении задач. Это требование обусловливается наличием возможности срыва за счет эффекта раздвоения внимания у диспетчера. Известно, что человек-оператор представляет собой одноканальную систему и нагрузка в виде двух и более одновременно возникающих и требующих неотложного решения задач часто приводит к срыву либо к повышенной напряженности.

Существуют совокупности и других требований, однако выполнение их не позволяет говорить о наличии методики синтеза эргатических систем УВД. Создание законченных методов синтеза эргатических систем УВД, как и любых других систем, относящихся к сложным системам управления, пока нельзя считать завершенным. Сложность как одно из определяющих свойств подобных систем является следствием высокой их организации. Действительно, среди принципиально важных свойств сложных систем управления особое место занимает свойство необходимого разнообразия процессов в таких системах, подмеченное и сформулированное еще в начале 50-х годов У. Р. Эшби [165, 166]. Свойство сложности, характерное для эргатических систем управления, не должно, однако, вступать в противоречие с принципом простоты, который выполняется во всех биосистемах. Простота при этом достигается за счет

специфических форм организации, наличия иерархической структуры, систем, блочного их построения с дублированием, использованием временной иерархии [167, 168].

При разработках методов синтеза сложных эргатических систем управления одним из неизбежных моментов является моделирование. При моделировании сложных биологических систем управления принцип простоты реализуется в том, что вектор состояния процессов в модели должен содержать наименьшее число компонент и зависимостей, накладывающих ограничения на компоненты и динамику их изменения во времени. Таким образом, задача оптимизации модели, составленная в соответствии с принципом простоты, формулируется теперь так, что показателем эффективности ее становится число компонент, уравнений и неравенств модели при ограничениях в виде близости процессов в модели и в реальной моделируемой системе управления. Степень такой близости обычно постулируется. Она и определяет в названной задаче оптимизации модели достижимую простоту. Однако в действительности переход от давно известных качественных требований общего характера к четкой формализации задачи скрывает в себе и принципиально новые возможности.

К таким возможностям в первую очередь следует отнести применение принципа декомпозиции. Сущность принципа состоит в том, что любая ситуация в динамической воздушной обстановке, например, при исследовании эргатических систем УВД либо в организационной структуре таких систем путем применения тестовых критериев разбивается на ряд более мелких, но обозримых и решаемых задач. Реализация принципа декомпозиции эквивалентна процессу самообучения. При этом разбиение сложной проблемы на более мелкие (решаемые) задачи сопоставимо с определением (исходя из ограниченного числа проб, наблюдений, предъявляемых для распознавания объектов на этапе обучения) таких границ между задачами и методов их решения, что средняя ошибка не более наперед заданного малого числа либо в случае оптимальной декомпозиции достигает минимума. Грубая (в первом приближении) постановка общей задачи, реализующей принцип декомпозиции при оптимальном моделировании, сводится к следующему.

Вектор состояния в идеальной, но необозримой модели процесса, показатель его эффективности, управления и параметры, а также ограничения в проблеме оптимального моделирования процессов эргатической системы управления выражаются зависимостями:

$$Q_\Sigma = (q_1^{(\Sigma)}, \ldots, q_n^{(\Sigma)}); \; J_\Sigma = F_\Sigma(I_1, \ldots, I_\mu); \tag{14.22}$$

$$Q_\Sigma = \bar{\psi}_\Sigma^{(1)}(Q_\Sigma, U_\Sigma, P_\Sigma, A); \tag{14.23}$$

$$\varphi_\Sigma(U_\Sigma, P_\Sigma) \leqslant 0; \tag{14.24}$$

$$\psi_\Sigma^{(2)}(Q_\Sigma, P_\Sigma) \leqslant 0, \tag{14.25}$$

где обозначения соответствуют введенным ранее в гл. 1, 2 и т. д.

Оптимальные значения $U_\Sigma^*$, $P_\Sigma^*$ приводят к достижению оптимальной траектории процесса, на которой функционал $J_\Sigma(Q_\Sigma^*)$, например, $\to \max\limits_{u} \max\limits_{P}$. Принцип декомпозиции позволяет разбить эту задачу на совокупность более мелких, но решаемых (обозримых) задач.

Принцип декомпозиции применим, если

$$\Phi\{J_\Sigma(Q^*) - J_\Sigma[I_\Sigma^{(1)}(q_*^{(1)}), \ldots, I_\Sigma^{(\rho)}(q_*^{(\rho)})]\} = R \leqslant \varepsilon, \qquad (14.26)$$

где $q_*^{(1)}, \ldots, q_*^{(\rho)}$ — векторы состояния в каждой из задач, на которые разбивается общая задача; $I_\Sigma^{(j)}(q_*^{(j)})$ — составные показатели эффективности процессов в каждой из задач $(j=1, \bar{\rho})$; $\Phi\{\cdot\}$ — функционал, определяющий адекватность моделей.

Задача реализации принципа оптимальной декомпозиции заключается в определении границ $\Gamma(q)$ разбиения задач так, чтобы

$$R \to \min_{\Gamma(q)}. \qquad (14.27)$$

Границы $\Gamma(q)$ понимаются в достаточно широком смысле, как границы рационального применения показателей эффективности (деления пространства применимости), видов управления, зависимостей, характеризующих ограничивающие процессы, и др.

Принцип декомпозиции предполагает не только дробление центральной общей сложной задачи на более мелкие, но и решаемые задачи. Сущность его отражается полно в объединении мелких решаемых задач в небольшое число групп функционально единых задач. Отыскание границ $\Gamma(q)$ между такими группами и составляет основу принципа декомпозиции. Примером такого выделения можно считать декомпозицию этапа непосредственного УВД на процессы и далее процессов этапа непосредственного управления на задачи и операции. В соответствии с философской концепцией единства противоположностей можно поэтому говорить о принципе декомпозиции как о реализации акта обобщения в борьбе с избыточностью. В этом смысле принцип декомпозиции может оказаться необходимым элементом искусственного интеллекта.

В том или ином виде принцип декомпозиции использовался и ранее [169—171, 222]. Началом теоретически обоснованного исследования принципа декомпозиции можно считать решение задач о допустимо больших участках линеаризации нелинейных процессов, допустимой дискретизации непрерывных процессов и др. [14, 18; 185—187]. Конкретная реализация принципа декомпозиции возможна с помощью использования идей метода комбинированного оптимального управления (на критериальном уровне полиоптимизации), применения параметрической оптимизации (на уровне управлений) либо теории обратной задачи оптимизации (на концептуальном уровне) [135, 136].

## Контрольные вопросы

1. В чем состоит особенность эргатических систем управления?
2. Какие вопросы синтеза эргатических систем следует считать не потерявшими актуальность?
3. Поясните основной смысл принципа «активного оператора» применительно к простейшему контуру системы УВД.
4. Дайте пояснение свойству сложности, характерному для эргатических систем управления, на примере системы УВД.
5. Как можно интерпретировать принцип простоты по отношению к биологическим системам управления и какую роль он играет при синтезе эргатических систем управления?
6. В чем состоит сущность применения принципа декомпозиции при синтезе рациональных процессов в системе УВД?
7. Приведите формулировку общей задачи, реализующей принцип декомпозиции при оптимальном моделировании.

Раздел IV

# ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АС УВД

## Глава 15

## ОБЩАЯ СТРУКТУРА АС УВД

### 15.1. Классификация АС УВД

Сложность системы УВД и, в частности, системы непосредственного управления обуславливает многообразие способов классификации АС УВД. Классификация систем по различным признакам служит для выделения, группирования и анализа тех или иных характеристик, что необходимо для совершенствования существующих систем, разработки новых и рациональной организации их взаимодействия.

Классификация АС УВД осуществляется по: степени автоматизации; особенностям зоны управления (аэроузловые и трассовые АС УВД); способам получения информации о воздушной обстановке.

Основной целью автоматизации процессов УВД является обеспечение рационального использования воздушного пространства при жестком выполнении главного ограничения — требования к безопасности полетов. При этом под термином «рациональное использование воздушного пространства» понимается обеспечение регулярности и экономичности полетов, что, в свою очередь, требует достаточной пропускной способности зон УВД, рациональной загрузки диспетчера и т. д.

В настоящее время в наиболее загруженных зонах УВД диспетчер работает при очень высоких нагрузках. Это объясняется как множеством рутинных, нетворческих операций, которые приходится ему выполнять, так и несовершенством информационного обеспечения, не позволяющим диспетчеру быстро и безошибочно идентифицировать воздушную обстановку.

Экстенсивные формы совершенствования систем УВД в значительной мере исчерпали свои возможности. Основным способом повышения пропускной способности зон УВД и удовлетворения требований к обеспечению безопасности полетов является поэтапная комплексная автоматизация тех процессов УВД, которые ограничивают рост интенсивности воздушного движения или снижа-

ют безопасность и экономичность полетов. При определении необходимой степени автоматизации процессов непосредственного УВД должны учитываться характер воздушного движения и его прогноз в каждой конкретной зоне УВД, а реализация АС УВД должна непременно ориентироваться на возможность поэтапного наращивания степени автоматизации (см. § 5.2).

При создании АС УВД более высокого уровня должен использоваться принцип преемственности как методов управления, так и технических средств. Это позволяет классифицировать АС УВД по степени автоматизации. Степень автоматизации той или иной используемой системы УВД зависит не только от уровня развития науки и техники, позволяющих разработать соответствующую аппаратуру и математическое обеспечение ЭВМ АС УВД, но и от потребностей зоны УВД, где установлена или будет установлена данная система. Степень автоматизации процессов УВД в конкретной зоне должна быть экономически обоснована с учетом сложившихся и прогнозируемых условий воздушного движения. Это приводит к необходимости и экономической целесообразности производства и внедрения АС УВД различного уровня. Примером может служить установка АС УВД APTS-II, проводимая в США в широких масштабах в районах аэродрома со сравнительно невысокой интенсивностью воздушного движения, несмотря на то, что к настоящему времени разработана и хорошо зарекомендовала себя на практике АС УВД следующего поколения APTS-III.

Другим способом классификации АС УВД является деление их на две большие группы: системы УВД района аэродрома и трассовые системы. Такое деление обусловлено существенными различиями характера полетов, плотности и организации воздушного движения в этих зонах, а следовательно, и методов решения задач УВД. В качестве примера АС УВД района аэродрома можно привести отечественную систему «Старт», американскую ARTS-III и т. д. К трассовым АС УВД относятся система ARSR/SSP, установленная в Японии, американские системы, разработанные в рамках программы NAS Stage A, и др. Одним из основных требований, выдвигаемых к АС УВД района аэродрома и трассовым АС УВД, является их взаимная совместимость. Не случайно многие фирмы пошли по пути разработки комплексных автоматизированных систем, в которых одна часть является аэродромной, а другая трассовой АС УВД. К таким системам относится АС УВД «Теркас», разработанная шведской фирмой.

Одним из наиболее существенных признаков, позволяющих классифицировать системы УВД, является способ получения информации о воздушной обстановке. По этому признаку АС УВД могут быть разделены на системы, использующие радиолокационную информацию, и перспективные системы, получающие информацию о воздушной обстановке другими способами. Первая группа АС УВД, в свою очередь, подразделяется на системы, имеющие вторичный радиолокационный канал с общим запросом, и системы, использующие вторичную радиолокацию с дискретной адре-

сацией. Ко второй группе АС УВД в первую очередь относятся спутниковые системы, разрабатываемые в нашей стране и за рубежом (гл. 21).

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите возможные способы классификации АС УВД.
2. Какова основная цель автоматизации процессов УВД?
3. Какими факторами определяется степень автоматизации процессов УВД?
4. Чем обусловлено деление АС УВД на аэроузловые и трассовые?
5. Какие Вы знаете средства сбора информации о воздушной обстановке?

## 15.2. Пример структуры построения АС УВД

Рассмотрим структуру трассовой автоматизированной системы УВД, разработанной в США по программе NAS Stage A. Рассматриваемая АС УВД позволяет вводить летательные аппараты в автосопровождение как вручную, так и автоматически. Автоматический ввод осуществляется с помощью соответствующей программы, заложенной в ЭВМ системы. На яркостных индикаторах отображаются отметки от летательных аппаратов и информация, получаемая по вторичному радиолокационному каналу в виде буквенно-цифровых символов. ЭВМ системы производит обработку планов полетов и распечатку ленточных бланков хода полета (стрипов) на рабочих местах диспетчера, которые оснащены средствами ввода новых и измененных планов полета. Координация между секторами управления осуществляется с помощью буквенно-цифровых и табличных индикаторов. На радиолокационных индикаторах с помощью ЭВМ может отображаться географическая и метеорологическая информация. Передача летательного аппарата от одного диспетчера к другому автоматизирована, однако возможна и ручная коррекция передачи управления.

В структуре АС УВД NAS Stage A могут быть выделены основные комплексы:

радиолокационная система, включающая первичную и вторичную РЛС;

аппаратура преобразования радиолокационной информации в цифровую форму;

вычислительный комплекс, созданный на базе ЭВМ IBM 9020Д;

аппаратура канала отображения, связывающая вычислительный комплекс с индикаторами на рабочем месте диспетчера;

устройства отображения динамической воздушной обстановки, буквенно-цифровой и табличной информации.

Эти комплексы, в свою очередь, могут быть подразделены на более мелкие блоки. Структурная схема АС УВД NAS Stage A представлена на рис. 15.1. Информация от РЛС *1*, полученная по первичному и вторичному каналам, поступает в устройство *2* преобразования ее в цифровую форму. Это преобразование необходи-

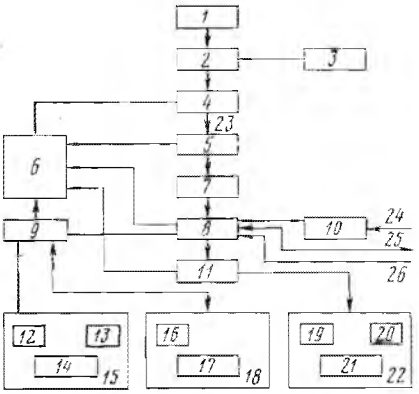



Рис. 15.1. Структурная схема автоматизированной системы:

*1*—радиолокационная станция; *2*—устройство преобразования радиолокационной информации первичного и вторичного каналов в цифровую форму; *3*—аппаратура войск ПВО; *4, 5*—устройства для обработки цифровых сообщений; *6*—пульт индикатора технического обслуживания системы; *7*—аппаратура приема цифровых сообщений; *8*—вычислительный комплекс системы; *9*—оборудование для корректировки данных ЭВМ; *10*—приемопередающая аппаратура; *11*—индикаторы информации от ЭВМ; *12, 16, 19*—устройства считывания данных из ЭВМ; *13*—устройство печати ленточных бланков полетов; *14, 17, 21*—устройства ввода данных в ЭВМ; *15, 22*—рабочие места диспетчеров; *18*—рабочее место ассистента; *20*—индикатор с горизонтальной проекцией; *23*—узкополосные линии связи; *24*—канал передачи данных от соседнего трассового центра УВД; *25*—канал передачи данных от соседних диспетчерских пунктов; *26*—канал передачи данных от удаленных источников информации

мо для обеспечения возможности использования узкополосных линий связи и дальнейшего их использования в цифровых вычислительных машинах. В устройство *2* поступает также информация от органов ПВО *3*, взаимодействующих со службой движения, для аналогичного преобразования. Аппаратура *4* обеспечивает обработку и сжатие информации, что позволяет еще более снизить требования к полосе пропускания канала связи *23*. Устройство *5* восстанавливает первоначальный вид цифровых сообщений, после чего в блоке *7* осуществляется их селекция и формирование для передачи в вычислительный комплекс *8*. Информация от ЭВМ поступает на индикаторы *11*. Оборудование *9* производит коррекцию возможных ошибок данных, поступающих от ЭВМ. На индикаторах пульта технического обслуживания системы *6* отображаются значения параметров, характеризующих исправность блоков *4, 5, 8, 9, 11*. Приемопередающая аппаратура *10* обеспечивает по каналу передачи данных *24* обмен информацией с соседними трассовыми центрами УВД. По каналу *25* производится информационный обмен со смежными диспетчерскими пунктами, а канал *26* служит для передачи данных от источников информации, удаленных от вычислительного комплекса.

На рабочем месте диспетчера радиолокационного контроля *22* находится совмещенный план-индикатор *20*, расположенный в горизонтальной плоскости, устройство считывания данных из ЭВМ *19* и устройство ввода данных в ЭВМ *21*. Аналогичными устройствами (кроме совмещенного план-индикатора) оборудовано и рабочее место ассистента *18*.

На рабочем месте диспетчера процедурного контроля *15* установлено также устройство для печатания ленточных бланков хода полета *13*.

Основой любой автоматизированной системы УВД является вычислительный комплекс. Для решения поставленных перед ней

задач ЭВМ должна располагать необходимой информацией. Основным средством сбора оперативной информации в существующих АС УВД являются РЛС. Причем информации только от первичного радиолокационного канала, позволяющего определять координаты летательных аппаратов в плане, оказывается недостаточно. Вторичный канал (т. е. канал, использующий активный ответ опрошенного летательного аппарата) позволяет АС УВД получить бортовой номер (позывной) летательного аппарата и произвести его автоматическую идентификацию, определить высоту и тенденцию изменения высоты, путевую скорость, пункт назначения, остаток топлива и т. д.

Кроме того, в ЭВМ закладывается статическая информация, включающая сведения о конфигурации трасс, географических особенностях местности и др.

На рабочем месте диспетчера имеется возможность оперативного ввода информации в ЭВМ.

Основным звеном системы УВД был и остается диспетчер. Он несет ответственность за правильное принятие решения и соблюдение всех ограничений. Следовательно, одним из важнейших вопросов, решаемых при создании АС УВД, является организация рационального взаимодействия человека и вычислительного комплекса системы. К устройствам, обеспечивающим это взаимодействие, относятся индикаторы, на которые выводится информация от ЭВМ (совмещенный план-индикатор — СПИ, буквенно-цифровой и табличный индикаторы), устройство для распечатки ленточных бланков хода полета — стрипов, а также клавиатура, позволяющая оператору вводить новые данные в ЭВМ и запрашивать информацию из нее.

Исследования проблемы организации взаимодействия человек—машина позволили создать диспетчерские пульты, обеспечивающие удобство диалога диспетчера с ЭВМ, осуществляемого параллельно с выполнением оперативного управления воздушным движением. Для снижения нагрузок на диспетчера до уровня, позволяющего ему эффективно и безошибочно работать без перенапряжения, функции диспетчера радиолокационного контроля, процедурного контроля и оператора, осуществляющего связь со смежными диспетчерскими пунктами и службами, разделены. Это обеспечило повышение пропускной способности зон УВД при сохранении заданного уровня безопасности полетов.

### Контрольные вопросы

1. Какие процессы автоматизированы в рассмотренной АС УВД?
2. Какие основные комплексы могут быть выделены в АС УВД?
3. Какова роль аналого-цифрового преобразования радиолокационной информации?
4. Опишите состав оборудования пультов диспетчера радиолокационного контроля, диспетчера процедурного контроля и ассистента.
5. Какие требования предъявляются к ЭВМ АС УВД?

# ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ В АС УВД

## 16.1. Информационные потоки в системе УВД

Сложность и многоплановость процессов УВД предопределяет большое количество и разнообразие информационных потоков внутри системы и широкие внешние связи. Так как реальные каналы связи имеют ограниченную пропускную способность, для обеспечения надежного функционирования системы УВД и других авиационных систем в гражданской авиации организована приоритетная структура передачи сообщений в зависимости от их содержания. Все сообщения подразделяются на восемь категорий срочности: «Аварийная», «Молния», «Шторм», «Авиа», «Срочная», «Оперативная», «Коммерческая», «Обыкновенная».

К категории «Аварийная» относятся сообщения о: летательных аппаратах, подавших сигнал бедствия или срочности; летательных аппаратах, потерявших связь и не обнаруженных радиолокаторами; неприбытии летательных аппаратов в аэропорты назначения; летных происшествиях; оказании помощи летательным аппаратам или другим видам транспорта, терпящим бедствие.

К категории «Молния» относятся сообщения, имеющие особо срочный характер о: чрезвычайных происшествиях и повреждениях летательных аппаратов на земле; ограничениях и запрещениях полетов на авиалиниях; направлении летательных аппаратов, находящихся в воздухе, на другие аэродромы и другие сообщения.

К категории «Шторм» относятся сообщения об опасных метеоявлениях, возникших или прогнозируемых.

К категории «Авиа» относятся сообщения, направленные на обеспечение безопасности полетов, при осуществлении оперативного управления воздушным движением: по каналу земля—борт; по каналам согласования; метеорологическая информация, не содержащая сведений об опасных метеоявлениях.

К категории «Срочная» относятся сообщения, направленные на обеспечение регулярности полетов о: предварительных планах полетов; загрузке летательных аппаратов; пролетах летательными аппаратами контрольных пунктов; посадках, задержках, отменах, возвратах и прерываниях рейсов; нарушениях режимов и правил полетов.

К категории «Оперативная» относятся сообщения: по эксплуатации летательных аппаратов; по обслуживанию летательных аппаратов, находящихся в полете, или когда вылет намечен по расписанию в течение 48 ч после подачи сообщения; по эксплуатации и обслуживанию оборудования для обеспечения безопасности и регулярности полетов; об изменениях расписания движения, которые должны вступить в действие в течение 72 ч после подачи сообщения; по подготовке служб для обслуживания летательных ап-

паратов, выполняющих рейсы вне расписания, которые подаются в течение 48 ч до предполагаемого времени вылета; по запасным частям и материалам, срочно требующимся для эксплуатации летательного аппарата, находящегося в полете или вылетающего согласно расписанию в течение 48 ч; а также другие сообщения и указания, подлежащие выполнению в течение 48 ч.

К категории «Коммерческая» относятся сообщения о бронировании мест и продаже билетов пассажирам; об отправке почты и грузов и другие сообщения и распоряжения по перевозкам, если летательные аппараты будут вылетать по расписанию в течение 72 ч с момента подачи сообщения.

Остальные сообщения, которые не могут быть посланы авиапочтой, относятся к категории «Обыкновенная». Кроме сообщений, передаваемых по каналам авиационной связи, в системе УВД можно выделить потоки информации, направленные от радиолокационных и других средств сбора информации о воздушной обстановке к диспетчеру, от ЭВМ АС УВД к рабочему месту диспетчера и от диспетчера к ЭВМ и т. д. Качество функционирования системы УВД во многом определяется качеством функционирования информационной ее части и зависит не только от правильной организации информационных потоков, но и от рационального выбора состава и количества передаваемой информации в той или иной ситуации, а также от формы представления полученной информации.

Поэтому можно говорить также, что система УВД — это информационная система, в функционировании которой на этапе непосредственного управления можно выделить следующие основные процессы: сбора и обработки информации; анализа и представления информации; выработки информации (принятие решения); передачи информации.

Ограничение информационных возможностей системы для любого из перечисленных процессов говорит о ее недостаточной пропускной способности. Выделение процесса, на котором наиболее остро проявляются ограничения пропускной способности системы, способствует решению вопроса об очередности и степени автоматизации тех или иных процессов. При этом должна учитываться взаимосвязь процессов. Так, например, изменение состава и способов обработки информации может сократить время принятия решения и уменьшить объем передаваемых сообщений. К аналогичным результатам может привести изменение состава и формы представления информации.

Основным элементом системы является диспетчер, принимающий решения при УВД, поэтому решение задачи оптимизации информационных потоков должно быть подчинено формированию состава и способов представления информации диспетчеру, обеспечивающих принятие наиболее рациональных решений в кратчайшие сроки.

Информацию, необходимую для осуществления УВД, принято обычно делить на динамическую, изменяющуюся в процессе УВД,

и статическую, являющуюся постоянной в течение длительного периода времени.

К динамической информации относится: номер летательного аппарата (позывной); координатная информация, или информация о параметрах движения летательного аппарата, которая включает координаты на плоскости, высоту и скорость; тенденции к изменению высоты и скорости (направления) полета; остаток топлива; сообщения о достижении заданной высоты, контрольных ориентиров и метеорологических условиях полета; аэродром назначения и его метеорологические условия; текущие планы полетов.

В качестве примера статической информации можно привести тактико-технические характеристики, структуру летательных аппаратов, административно-географические характеристики зоны и т. п.

Динамическая информация поступает к диспетчеру от различных источников: от радиолокационных и других измерителей параметров движения летательных аппаратов по каналам вторичной радиолокации; по УКВ и КВ каналам радиосвязи с экипажами летательных аппаратов, находящихся на управлении; по каналам взаимодействия со смежными диспетчерскими пунктами и службами (метео, перевозок и др.).

Одной из важнейших тенденций видоизменения информационных потоков является концентрация динамической информации на совмещенном план-индикаторе и минимизация радиотелефонных переговоров с экипажами летательных аппаратов. Реализация этой тенденции стала возможна с внедрением вторичной радиолокации, существенно сократившей часть радиотелефонных переговоров запросно-ответного характера (см. гл. 13).

Второй существенной особенностью построения информационных потоков в современных системах УВД является постепенное освобождение диспетчера от сбора и селекции информации, а также от предварительной ее обработки, не требующей творческого подхода. Эти операции выполняет ЭВМ, обладающая гораздо большими, чем диспетчер, возможностями при решении задач, поддающихся алгоритмизации (см. гл. 3). Изменяет свой характер и информационный обмен со смежными диспетчерскими пунктами и службами. Здесь также имеет место тенденция к сокращению радио- и телефонных переговоров, к замене их цифровыми и телевизионными каналами связи.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите категории срочности сообщений и дайте их краткую характеристику.
2. Опишите основные информационные процессы в системе УВД и охарактеризуйте их взаимное влияние.
3. Какая информация имеет динамический характер?
4. Приведите примеры статической информации.
5. Назовите основные тенденции видоизменения информационных потоков.
6. В чем заключается цель совершенствования информационных потоков?

В настоящее время радиолокационные станции являются основным источником информации о динамической воздушной обстановке в районе аэродрома и на трассах. Они обеспечивают непрерывный обзор воздушного пространства, обнаружение самолетов и определение их координат. Существует большое количество типов РЛС. Описанию их характеристик посвящена обширная литература. Здесь же речь идет только о тактических свойствах РЛС, важных для УВД. В соответствии со структурой деления воздушного пространства РЛС подразделяют на радиолокаторы большого (300—400 км), среднего (150—200 км) и малого (50—70 км) радиуса действия. Применяются также посадочные РЛС, радиолокаторы обзора летного поля, метеорологические РЛС. Радиолокационные станции, используемые в гражданской авиации, позволяют измерить две координаты летательных аппаратов: дальность и азимут. Ошибки измерения координат для современных обзорных РЛС составляют сотни метров по дальности и десятые доли градуса по азимуту. Радиальная ошибка изменяется при этом от сотен метров на удалении до 100 км до единиц километров на максимальных дальностях действия РЛС.

Одним из основных достоинств первичных РЛС является независимость их работы от бортовой аппаратуры, так как они используют отраженные от летательных аппаратов сигналы. Однако это приводит к ряду нежелательных эффектов. Различение отраженных сигналов может быть в значительной степени затруднено, а иногда и невозможно вследствие маскирующего действия отражений от грозовых очагов, облаков, рельефа местности и искусственных сооружений. Кроме того, используемые в гражданской авиации первичные радиолокаторы не дают возможности измерять высоту летательного аппарата, что приводит к значительным затратам времени диспетчера на радиообмен с экипажами для выяснения текущей высоты полета.

От названных недостатков свободны вторичные РЛС, т. е. радиолокационные системы, использующие активный ответ от бортовой аппаратуры. Вторичные РЛС, помимо получения информации о барометрической высоте полета, позволяют опознать летательный аппарат по его бортовому номеру, получить сведения об остатке топлива, пункте назначения, путевой скорости, тенденции к изменению высоты и т. д.

Запросчик вторичной РЛС вырабатывает кодированный сигнал, который передается антенной, вращающейся синхронно с антенной первичной РЛС. Эти сигналы принимаются антенной летательного аппарата, после чего формируется ответный сигнал, содержащий дополнительную информацию. Несущие частоты запросного и ответного сигналов различны. Измерение дальности от летательного аппарата производится так же, как в первичном радиолокаторе.

Дополнительная информация, поступающая по каналу вторичной радиолокации, отображается на совмещенном план-индикаторе диспетчера в формуляре, привязанном к отметке соответствующего летательного аппарата. Это не только позволяет сократить объем радиообмена с экипажем, но и дает возможность диспетчеру более обоснованно и оперативно принимать решение. Помимо этого, информация о параметрах движения летательных аппаратов может использоваться в ЭВМ для решения ряда вычислительных и логических задач.

Система вторичной радиолокации также имеет недостатки, к основным из которых относятся.

1. Низкий коэффициент готовности, который определяется как вероятность того, что данный запрос вызовет ответ конкретного летательного аппарата. Коэффициент готовности снижается по следующим причинам:

на период передачи ответного кода бортовое приемное устройство запирается. Поэтому если срабатывание ответчика было вызвано запросом РЛС соседней зоны УВД, то в течение времени ответа запросы «своей» РЛС приняты не будут;

при обнаружении запроса по боковому лепестку диаграммы направленности антенный РЛС бортовой приемник блокируется. В условиях перекрытия зон обзора соседних вторичных РЛС частое срабатывание блокировочного устройства снижает вероятность ответа по основному лепестку «своей» РЛС;

бортовое оборудование иногда вызывает случайное срабатывание ответчика, что приводит к появлению интервалов нечувствительности приемника к запросам РЛС;

прием помехи сопровождается автоматическим уменьшением чувствительности приемника, что также может привести к пропуску запроса.

2. Переотражения от зданий, самолетов на стоянках и т. п., которые могут вызвать ложные отметки на экранах индикаторов. Этот недостаток не является специфическим для вторичной радиолокации.

3. Экранирование антенны ответчика отдельными частями самолета, которое также приводит к пропуску запросов.

4. Сложность (а иногда невозможность) разделения ответов от двух летательных аппаратов, если летательные аппараты находятся на удалении от антенны РЛС, различающихся на 3 км и менее в пределах ширины диаграммы направленности антенны запросчика.

5. Нарушение синхронизации и появление ложных целей из-за асинхронных ответов, принимаемых данной РЛС при срабатывании ответчика от запроса другой РЛС.

6. Снижение вероятности получения ответа на запрос из-за необходимости наличия широкой диаграммы направленности запросчика в вертикальной плоскости, приводящей к возникновению пиков и нулей коэффициента усиления.

7. Возможность круговой засветки на экране индикатора при малых удалениях летательного аппарата от антенны вторичной РЛС из-за влияния боковых лепестков.

Влияние части перечисленных недостатков систем вторичной радиолокации может быть ослаблено за счет координирования работы сети запросчиков, подавления боковых лепестков, мероприятий по борьбе с асинхронными ответами, усовершенствованиями антенн и системы обработки информации и т. д. Однако эти усовершенствования приводят к удорожанию аппаратуры, но не снимают полностью поставленных проблем, особенно в условиях высокой плотности воздушного движения.

Радикальным средством, позволяющим полностью устранить большинство рассмотренных недостатков вторичных РЛС, является использование дискретной адресации. Основное отличие системы вторичной радиолокации с дискретной адресацией (индивидуально-адресным запросом) заключается в том, что если в существующей системе выбор летательного аппарата запросчиком осуществляется селекцией по направлению с помощью диаграммы направленности антенны, то в системе с дискретной адресацией летательному аппарату присваивается индивидуальный адрес (например, совпадающий с номером борта), на который он отвечает. Дискретная адресация позволяет запрашивать только тот летательный аппарат, информация о котором необходима в данный момент, тогда как при общем запросе срабатывают ответчики всех летательных аппаратов, находящихся на азимуте в пределах диаграммы направленности антенны запросчика. В режиме индивидуального запроса также используются остронаправленные антенны. Это позволяет исключить взаимное влияние соседних запросчиков и определить азимут запрашиваемого летательного аппарата. Таким образом, устраняются основные недостатки системы с общим запросом: перегрузка лишними запросами и ответами и помехи по ответному каналу от близко расположенных летательных аппаратов.

Использование дискретной адресации позволяет совершенствовать организационную структуру системы УВД. Применение общего запроса обусловливает необходимость иметь свой запросчик для каждого диспетчерского пункта. Индивидуальная адресация позволяет создать сеть запросчиков, связанных линиями передачи данных с системой диспетчерских пунктов. Это дает возможность упорядочить запросы и ответы, что снижает загрузку аппаратуры даже при увеличении плотности воздушного движения. Кроме того, разветвленная сеть запросчиков, устанавливаемых отдельно от диспетчерских пунктов, позволяет расширить воздушное пространство, находящееся под контролем системы УВД.

В настоящее время в США эксплуатируется около 130 РЛС района аэродрома ASR-6, ASR-7 и 80 радиолокаторов дальнего действия ARSR-2 и FPS-66. Внедряются РЛС типа ASR-8 и ARSR-3 (табл. 16.1). Разработаны также РЛС дециметрового диапазона волн: LAR-1, работающая на фиксированной частоте, и

LAR-II — когерентная РЛС со сжатием импульсов. РЛС LAR-I имеет: дальность действия 294 км при использовании одного передатчика и 380 км — нескольких передатчиков, разрешающую способность по дальности — 300 м, по азимуту — 5,4 км на удалении 180 км; хорошую помехоустойчивость, в том числе от помех в виде местных предметов.

Таблица 16.1

**Некоторые характеристики обзорных РЛС (США)**

| Показатель | ARSR-2 | FPS-66 | ASR-6 | ASR-7 | ASR-8 | ARSR-3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Скорость вращения антенны, об/мин | 5 | 5 | 15 | 13 | 12,5 | 5 |
| Дальность, км | 360 | 360 | 110 | 110 | 110 | 360 |
| Ширина луча по азимуту, град | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,2 |
| Обработка сигналов | Аналоговая | Аналоговая | Аналоговая | Цифровая | Цифровая | Цифровая |

В настоящее время дальнейшее развитие радиолокационных систем УВД в основном идет по пути совершенствования методов, алгоритмов и средств обработки радиолокационных сигналов.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные достоинства и недостатки первичных РЛС.
2. Охарактеризуйте проблемы, возникающие при эксплуатации систем вторичной радиолокации с общим запросом.
3. В чем заключается принцип работы вторичных радиолокаторов с дискретной адресацией?
4. Почему дискретная адресация обладает преимуществами перед общим запросом при высокой плотности воздушного движения?

## 16.3. Виды обработки радиолокационной информации

Обработку радиолокационной информации обычно подразделяют на первичную и вторичную. Главной задачей первичной обработки является обнаружение полезного сигнала на фоне помех, определение координат летательных аппаратов и преобразование информации в цифровую форму.

Основным способом оптимального обнаружения сигнала является синхронное накопление. Этот способ позволяет выделять слабые сигналы на фоне шумов. Так как его реализация в аналоговом виде затруднена и требует дорогостоящего оборудования, то обычно применяют предварительное аналого-цифровое преобразование радиолокационной информации.

Так как РЛС УВД работают в условиях интенсивных помех от облаков и местных предметов, в них применяется селекция движущихся целей (СДЦ). Она позволяет выделить отметки от движу-

щихся целей на фоне отражений от неподвижных объектов. Принцип работы СДЦ основан на чересперiодном вычитании, при котором разность двух одинаковых сигналов (с неизменными координатами) равна нулю. Работа системы СДЦ осложняется флуктуацией отражений от неподвижных объектов, вызванных движением антенны РЛС, и наличием движущихся объектов, которые не являются летательными аппаратами и должны быть отфильтрованы. Однако, несмотря на эти трудности, система СДЦ значительно увеличивает различимость целей на фоне мешающих отражений от местности, облаков и т. п.

Аппаратура первичной обработки информации выдает в цифровой форме координаты летательных аппаратов, информацию о бортовом номере, остатке топлива и т. д. При этом информация о параметрах движения летательных аппаратов носит статический характер и позволяет оценить лишь мгновенное их положение. Для анализа динамики воздушной обстановки, прогнозирования параметров движения летательных аппаратов и сохранения автосопровождения при временном пропадании отметок используется вторичная обработка радиолокационной информации. Она требует сравнительно большого объема вычислений, памяти и выполняется, как правило, на цифровых вычислительных машинах (ЦВМ).

Накопленные в запоминающем устройстве ЦВМ данные о параметрах движения каждого летательного аппарата позволяют осуществлять автосопровождение. Периодически обновляющиеся данные о параметрах движения летательных аппаратов передаются на индикатор радиолокационного обзора. Изображение на экране индикатора может представляться в синтетическом виде по данным, сформированным в памяти ЦВМ. При этом на индикатор не передаются изображения ложных отметок и помех, а отметки от летательных аппаратов могут иметь различную конфигурацию в зависимости, например, от эшелона полета.

Устройство вторичной обработки радиолокационной информации может также решать задачи идентификации тенденций к нарушению летательными аппаратами границ трассы и норм эшелонирования и пр.

Одной из важнейших задач вторичной обработки является идентификация отметок с определенным летательным аппаратом, сопровождение которых уже осуществляется. При наличии информации по вторичному радиолокационному каналу эта задача легко решается по данным о бортовом номере летательного аппарата. При отсутствии или неисправности бортового ответчика задача усложняется, однако в современных радиолокационных системах осуществляется автосопровождение как по активным (с бортовым ответчиком), так и по пассивным летательным аппаратам.

Измерение параметров движения летательных аппаратов производится с ошибками; случайные возмущения, действующие на летательный аппарат, приводят к случайным колебаниям координат и скорости. Это заставляет вводить сглаживание, частично

отфильтровывающее влияние ошибок измерения и флуктуаций параметров движения в существующих АС УВД.

С целью анализа тенденции развития воздушной обстановки используется прогнозирование параметров движения летательных аппаратов. Оно является основой для реализации самых разнообразных алгоритмов—функций системы вторичной обработки радиолокационной информации, начиная от поиска тенденций к разнообразным отклонениям от номинальной программы полета и кончая решением задач оптимизации маневров летательных аппаратов и оперативного планирования.

**Контрольные вопросы**

1. Какие задачи решаются при первичной обработке радиолокационных сигналов?
2. Для каких целей применяется система СДЦ?
3. Для чего используется вторичная обработка радиолокационной информации?
4. С какой целью производится сглаживание траекторных измерений?
5. Какова роль прогнозирования параметров движения летательных аппаратов?

## 16.4. Характеристика сети и каналов связи

Сетью связи обычно называется совокупность устройств для ввода и вывода информации, каналов, станций и узлов связи, а также абонентских и соединительных линий передачи информации. Под каналом связи понимаются технические устройства и физическая среда, в которой сигналы распространяются от передатчика (источника информации) к приемнику (получателю информации).

Вид передаваемой информации в значительной степени влияет на выбор сети и канала связи, определяет требования к скорости, надежности и достоверности связи. Информация может подразделяться на одноадресную, передаваемую только одному абоненту, и многоадресную. В системе УВД около 70% сообщений, передаваемых по каналам электросвязи, является многоадресными. Количество передаваемой информации значительно различается в разное время суток. При этом распределение пиков нагрузки каналов связи носит случайный характер. Это создает серьезные трудности при определении оптимального количества каналов связи. Информационные потоки имеют различную структуру, что определяет вид связи для передачи тех или иных сообщений (телеграфная, радиорелейная, радиосвязь и т. д.).

К основным элементам узлов связи относятся диспетчерский пункт узла связи; телефонная станция; телеграфная станция; радиобюро; приемный радиоцентр; передающий радиоцентр; группа радиорелейных станций.

В состав узлов связи аэропортов в зависимости от класса аэропорта и задач связи могут входить как все перечисленные элемен-

ты, так и часть из них. Организационно-техническое руководство и контроль за работой всех элементов осуществляются диспетчерским пунктом узла связи. Телефонная станция обеспечивает телефонную связь как внутри аэропорта, так и с вышестоящими, взаимодействующими и подчиненными пунктами управления. Телеграфную связь по аналогичным каналам осуществляет телеграфная станция. Для обеспечения радиосвязи с внешними абонентами непосредственно с пунктов управления служит радиобюро. Приемный и передающий радиоцентры осуществляют прием и передачу информации по каналам междуаэропортовой связи. При отсутствии проводной связи и наличии больших потоков информации используется радиорелейная связь.

Для осуществления межаэропортовой связи гражданская авиация арендует телеграфные и телефонные каналы общегосударственной сети связи.

Важную роль при непосредственном УВД играют каналы для передачи радиолокационной информации, цифровых сообщений от устройств сбора информации к ЭВМ АС УВД и между ЭВМ и диспетчером.

Тенденция к размещению радиолокационных систем на удалении от диспетчерских пунктов вызывает необходимость передачи радиолокационной информации на большие расстояния. Трансляция радиолокационного сигнала в аналоговой форме требует дорогостоящих широкополосных линий связи. Поэтому наиболее целесообразным является применение предварительного аналого-цифрового преобразования информации с последующей ее передачей по узкополосным каналам.

Потребная полоса пропускания линии связи сокращается при этом в десятки раз.

Создание крупных вычислительных комплексов также предполагает наличие цифровых линий связи с диспетчерскими пунктами и радиолокационными станциями.

Существенная часть объема радиотелефонного обмена диспетчера и экипажа летательного аппарата носит стандартный характер.

Это позволяет автоматизировать передачу ряда сообщений и команд, разгрузив при этом диспетчера и экипаж.

Использование в гражданской авиации телекодового канала связи «борт—земля» в перспективе позволит осуществлять передачу на борт команд и информации от системы УВД, передавать с борта фактическую метеобстановку по маршруту движения летательного аппарата, автоматически передавать на борт изменения в плане полета и т. д. Таким образом, наблюдается стремление к замене широкополосных и радиотелефонных линий связи узкополосными каналами для передачи цифровых сообщений. Перспективность передачи информации в цифровом виде и высокий уровень развития дискретной техники позволяют надеяться на внедрение этих каналов в практику гражданской авиации в ближайшем будущем.

**Контрольные вопросы**

1. Что понимается под сетью связи и каналом связи?
2. Что такое многоадресная информация?
3. Назовите основные элементы узлов связи.
4. Каковы функции радиобюро, радиоцентров?
5. В каком виде предпочтительнее передавать радиолокационную информацию на большие расстояния в цифровом или аналоговом? Почему?
6. Какие имеются общие тенденции в изменении форм передачи информации?

# Глава 17

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В АС УВД

## 17.1. Классификация вычислительных систем, применяемых в АС УВД

Характерные черты различных вычислительных систем и их классификация по ряду признаков с достаточной подробностью рассмотрены в работах [199—201]. Результаты общей теории систем позволяют определить место вычислительных систем, используемых в автоматизированных системах УВД, в общей классификации для того, чтобы обоснованно подойти к исследованию свойств и закономерностей, присущих организации вычислительных процессов в АС УВД и ее функционированию. В общем случае вычислительные системы можно разделить на проблемно-ориентированные и общего назначения [199].

К проблемно-ориентированным относятся вычислительные системы, предназначенные для выполнения определенного на текущий период времени набора задач. Таким образом, вычислительная система, включенная в состав АС УВД, при фиксированной степени автоматизации процессов является проблемно-ориентированной системой.

Проблемно-ориентированные вычислительные системы, в свою очередь, разделяют на управляющие и системы типа «запрос-ответ». Назначение управляющей вычислительной системы заключается в управлении работой конкретного технического объекта. С этой точки зрения вычислительные системы в АС непосредственно УВД не могут быть в полной мере классифицированы как управляющие, поскольку выходные данные системы не используются непосредственно объектом управления — совокупностью летательных аппаратов, находящихся на обслуживании в зоне УВД. Зависимость назначения вычислительной системы в АС УВД от разделения функций по УВД между ЭВМ и диспетчером на начальных этапах автоматизации позволяет характеризовать вычислительную систему с точки зрения использования выходных данных как систему справочного типа. Однако уже на этих этапах вычислительные системы обладают свойствами, присущими систе-

мам управляющего типа. Это относится к вводу исходных данных, характеризующих воздушную обстановку в зоне УВД, без участия диспетчера или при минимальной его загрузке. Автоматический ввод в ЭВМ радиолокационной и плановой координатной информации и данных о бортовом номере, метеоусловиях и т. д. позволяют выделять одно из основных свойств управляющих вычислительных систем — ввод данных, определяющих измеряемые параметры управляемого процесса непосредственно из мест их возникновения [201].

Основной задачей на первых этапах автоматизации процессов непосредственного УВД с точки зрения технической реализации можно считать создание наиболее полной и наглядной информационной модели воздушной обстановки для диспетчера. Тогда назначение вычислительной системы в АС УВД можно определить функциями управления средствами отображения информации. В этом смысле вычислительную систему в АС УВД можно классифицировать как систему управляющего типа с вытекающими особенностями организации вычислительных процессов.

Вычислительные системы типа «запрос-ответ» предназначены для обслуживания не технических объектов, а специалистов соответствующей отрасли. Характерным для этих систем является использование в качестве источников информации документов, подготовленных человеком. На выходе систем этого типа информация выдается также, как правило, в виде документов, удобных для восприятия их людьми. К системам типа «запрос-ответ» можно отнести вычислительную систему, включенную в состав АС планирования воздушного движения. Запросом, формируемым на входе системы, является, например, требование составления предварительного плана полетов в определенной зоне УВД, а также перечень сообщений для обеспечения полетов. Анализ функциональных задач, решаемых в АС УВД при различных условиях автоматизации процессов УВД, показывает, что для вычислительных систем типа «запрос-ответ» в АС УВД характерна необходимость организации хранения и обработки больших массивов информации, превышающих по объему массивы данных в системах управляющего типа. В системе типа «запрос-ответ» допускаются относительно большие запаздывания в сборе и обработке информации и получении результатов по сравнению с управляющими системами. Благодаря этому в системах этого типа появляются возможности выполнения более сложных и трудоемких вычислительных задач, включая оптимизационные. В связи с этим такие системы характеризуются и более сложной организацией технического, математического и программного обеспечения.

Общим свойством, присущим проблемно-ориентированным вычислительным системам, является наличие временных ограничений на обработку данных и выдачу результатов. Такие ограничения диктуются темпом развития процессов вне вычислительной системы. Так, работа системы управляющего типа в АС УВД должна быть организована в соответствии с динамикой развития воз-

душной обстановки в соответствующей зоне УВД. В вычислительной системе, обеспечивающей решение задач предварительного планирования воздушного движения, темп обработки информации и получения результатов обусловлен технологическим процессом деятельности планирующих, координирующих, контролирующих и обеспечивающих выполнение полетов органов.

При этом более жесткие ограничения на время получения результатов накладываются в системах управляющего типа. Так, в АС непосредственного УВД время обработки информации о состоянии воздушной обстановки ограничено возможностями использования результатов обработки для целенаправленного воздействия на ее развитие. Несвоевременность обработки информации приводит к снижению или полной потере ценности результата обработки информации. Поэтому одним из требований, определяющих эффективность вычислительных систем управляющего типа в целом, является требование к быстродействию вычислительной системы. Оно должно быть достаточным для решения каждой из функциональных задач АС УВД за конечное время, предельное значение которого ограничено условиями текущей воздушной обстановки.

В системах типа «запрос-ответ» также предъявляются определенные требования к их быстродействию. Для обеспечения равномерного удовлетворения возникающих запросов в качестве одной из характеристик, определяющих эффективность вычислительной системы, целесообразно выбрать среднее время обслуживания запросов. Так, минимизация среднего времени составления предварительных планов полетов в различных зонах УВД позволяет обеспечить равномерную загрузку органов, планирующих полеты, создать необходимые условия для координации планов полета смежных зон и их обеспечения.

Отнесение вычислительных систем, входящих в АС УВД, к рассмотренным типам является в значительной степени условным. В реальных вычислительных системах проявляются черты обоих типов. В частности, автоматизация процессов текущего планирования в АС УВД обеспечивается организацией вычислительного процесса по типу системы «запрос-ответ». В то же время реализация процессов оперативного предварительного планирования воздушного движения предполагает использование принципов организации систем управляющего типа.

В любом случае для АС непосредственного управления и планирования воздушного движения характерным является режим работы вычислительных систем в реальном масштабе времени. Это свойство является специфичным для всех проблемно-ориентированных вычислительных систем. В связи с этим их называют системами, работающими в реальном масштабе времени [199].

В отличие от проблемно-ориентированных вычислительные системы общего назначения предназначены для решения прикладных задач, состав и очередность реализации которых не регламентируются строго во времени. К таким системам можно отнести вычислительные системы, используемые для автоматизации процессов

организации УВД, а также для решения задач анализа состояния системы УВД, учета, документирования и др.

В зависимости от способа решения прикладных задач на вычислительной системе различают системы пакетной и оперативной обработки [199]. Эти системы отличаются друг от друга прежде всего значением показателя временных затрат на решение заданной совокупности прикладных задач. В системах пакетной обработки вычислительный процесс организуется таким образом, что происходит минимизация суммарного времени обработки всех задач. В системах оперативной обработки обеспечивается минимальное значение среднего времени получения результатов по каждой задаче. Эти системы характеризуются тем, что могут обслуживать одновременно несколько пользователей, обеспечивая ввод и вывод информации параллельно по нескольким задачам.

Основным способом организации оперативной обработки является разделение времени. Вычислительная система с разделением времени обслуживает пользователей в определенной последовательности, выделяя поочередно задаче (запросу) каждого пользователя некоторый интервал (квант) времени. В результате такой организации вычислительного процесса среднее время решения отдельных задач пользователей уменьшается. Таким образом, автоматизация различных процессов УВД предполагает использование вычислительных систем практически всех известных функциональных типов. При этом способы построения вычислительных систем определяются их структурой.

Структура вычислительной системы определяется типами и количеством технических средств и способом их связи. В зависимости от состава вычислительных средств различают одномашинные, мультипроцессорные и многомашинные вычислительные системы [199, 201].

Одномашинная вычислительная система состоит из одной ЭВМ с одним процессором и необходимым комплектом запоминающих устройств, устройств ввода-вывода и т. д. Одномашинная система в каждый момент времени может реализовать вычислительный процесс только по одной программе. Область ее применения при автоматизации процессов УВД ограничена возможностями удовлетворения требований к времени обработки информации, а также надежности функционирования. Более низкие требования в этой части предъявляются к автоматизации процессов организации УВД.

Автоматизация процессов планирования и непосредственного УВД связана с необходимостью обеспечения обработки информации в реальном масштабе времени. При этом взаимосвязь и взаимообусловленность решений, полученных на этапах планирования воздушного движения в различных зонах УВД, а также при реализации процессов предварительного (в особенности оперативного) планирования и непосредственного УВД в отдельной зоне УВД, обусловливает необходимость оперативного обмена информацией между функциональными подсистемами. Так возникают

решения в виде многомашинных и мультипроцессорных вычислительных систем, состоящих из нескольких связанных между собой ЭВМ.

Мультипроцессорные и многомашинные вычислительные системы подразделяются на однородные и неоднородные в зависимости от типов используемых процессоров или ЭВМ.

АС непосредственного УВД в зависимости от принятого способа обеспечения требований живучести может быть реализована на базе как мультипроцессорной, так и многомашинной вычислительной системы. Одним из возможных способов построения многомашинных вычислительных систем в АС непосредственного УВД является использование дуплексных (или триплексных) вычислительных систем [201]. Дуплексные (триплексные) системы образуются из двух (трех) ЭВМ одинакового типа. При этом все ЭВМ работают параллельно, выполняя решение одних и тех же функциональных задач синхронно во времени, затем все результаты преобразования информации сравниваются. При несовпадении результатов обработки с помощью средств автоматического контроля правильности функционирования неисправная ЭВМ автоматически выводится из автоматической системы (происходит реконфигурация структуры вычислительной системы), а исправные продолжают работу. После устранения неисправностей структура системы восстанавливается.

Многомашинные системы можно использовать в АС УВД не только для повышения живучести, но и для обеспечения более высокой производительности. С этой целью используют как однородные, так и неоднородные системы.

Системы с ЭВМ одинакового типа используют в том случае, когда обоснована возможность распараллеливания общего алгоритма функционирования АС УВД на части, равноценные в смысле затрат машинного времени и загрузки периферийного оборудования ЭВМ. Целесообразность такой организации вычислительной системы при относительно мало изменяющихся характеристиках ЭВМ повышается по мере повышения уровня автоматизации процессов УВД.

Необходимость использования неоднородных многомашинных вычислительных систем в АС УВД может быть обусловлена наличием большого объема работы по вводу информации с пультов диспетчера или выводу информации и управлению средствами отображения информации. В этом случае повышение производительности системы обеспечивается путем передачи функций ввода-вывода информации и ее предварительной обработки менее мощным ЭВМ, управляющим одним или группой терминалов.

Автоматизация процессов УВД на высоком уровне предполагает объединение в вычислительные системы отдельных ЭВМ (или вычислительных систем), первоначально территориально разобщенных. Системы такого вида образуются, например, путем объединения автоматизированных систем планирования и непосредственного УВД, автоматизированных систем предварительного пла-

нирования органов различных уровней, АС УВД (в широком смысле) и автоматизированных систем других органов, обеспечивающих полеты и подготовку к ним. Такие системы, состоящие из нескольких территориально разобщенных ЭВМ, связанных между собой каналами передачи данных, называют вычислительными сетями. Многообразие возможных структур построения вычислительных систем в АС УВД приводит к необходимости привлечения всего арсенала методов решения задач, возникающих при проектировании и эксплуатации вычислительных систем и образующих основу теории вычислительных систем.

**Контрольные вопросы**

1. Дайте общую характеристику проблемно-ориентированных вычислительных систем.
2. Перечислите типы вычислительных систем, используемых в АС УВД.
3. Приведите наиболее характерные черты структурной организации вычислительных систем в АС УВД.
4. Раскройте содержание требований надежности и живучести вычислительных систем в АС УВД.
5. Для каких целей используются многомашинные вычислительные системы в АС УВД?

## 17.2. Выбор варианта вычислительной системы в АС УВД

Основной задачей теории вычислительных систем является задача оптимального синтеза вычислительной системы. Ее решение связано прежде всего с выбором структуры системы и определением стратегии управления вычислительным процессом, наилучшим образом удовлетворяющих заданным требованиям функционирования автоматизированной системы [199, 202].

Наиболее полный перечень требований, отражающих специфику УВД, предъявляется к вычислительным системам, предназначенным для автоматизации процессов непосредственного управления воздушным движением. Такие системы, включенные непосредственно в контур управления, должны обладать целым рядом качеств, которые не обязательны для ЭВМ общего назначения и не всегда представлены полностью, например, в ЭВМ так называемого «системного» типа, разрабатываемых промышленностью специально для автоматизации процессов управления производством. Природа процессов УВД, связанных с жизнеобеспечением, выдвигает ряд специфических требований, анализ которых (см. раздел 1) позволяет увязать физическую сущность автоматизации процессов УВД со списком тех требований и параметров, которым должна удовлетворять вычислительная система, используемая в контуре АС УВД. К таким специфическим требованиям относятся: высокая надежность работы и живучесть вычислительной системы; малое время восстановления отказавших элементов; возможность изменения конфигурации структуры в зависимости от потребностей при УВД и от уровня автоматизации; высокое быстродействие;

возможность работы в реальном масштабе времени; большой объем оперативной памяти; относительно малые стоимости, габариты и масса.

Противоречивость перечисленных требований заставляет исследователей глубоко изучать проблему так называемых компромиссных решений. Действительно, требование высокой надежности приводит, как правило, к введению резервирования, что противоречит требованию малой стоимости, габаритным и массовым требованиям. Аналогично обстоит дело и с требованиями высокого быстродействия и большого объема памяти и др. Перечень таких требований ставит исследователя в трудное положение, когда, с одной стороны, необходимо, а с другой—трудно дать количественное обоснование для выбора варианта вычислительной системы. Таким образом, в данном случае эта проблема превращается в задачу выбора предпочтительного варианта вычислительной системы для АС УВД.

При решении выясняют сначала перечень основных требований к данной совокупности вариантов решений, схем либо устройств, среди которых необходимо выбрать предпочтительный. После этого стремятся найти значения частных показателей, отражающих степень удовлетворения каждого из требований. Значения частных показателей следует указать как для каждого из предлагаемых к сравнению варианта, так и в виде перечня максимально достижимых требований. Такой перечень служит основой для дальнейшей формализации совокупности частных показателей эффективности.

Далее, исходя из специфики рассматриваемых вариантов выбирают (обосновывают) вид составного показателя эффективности и рассчитывают значения коэффициентов веса каждого частного показателя из совокупности. Наиболее просто такие коэффициенты рассчитывают путем обработки результатов опроса группы специалистов, т. е. экспертным методом. Решение задачи выбора варианта осуществляется простым вычислением значений составного показателя при вычисленных значениях коэффициентов веса и учете естественных для этой задачи ограничений. Вычисленные значения составного показателя для каждого из сравниваемых вариантов являются исчерпывающей количественной оценкой.

Если сравнение полученных результатов приводит к неожиданным либо к заведомо неверным выводам, то проводится повторный анализ совокупности частных показателей с целью учета в ней тех требований, которые при упущении приводят к неверному решению. При этом осуществляется и пересчет коэффициентов веса. Если же совокупность частных показателей не может быть изменена, то основное внимание сосредотачивается на способе и качестве расчета коэффициентов веса. Такие исследования позволяют найти решение задачи выбора варианта, дают возможность выявить влияние различных частных показателей на процесс выбора и устанавливают общую тенденцию в общей оценке данной совокупности вариантов.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные требования, предъявляемые к вычислительным системам в АС УВД.
2. Опишите общую схему решения задачи выбора предпочтительного варианта вычислительной системы.
3. Приведите формализованную схему решения задачи выбора варианта вычислительной системы АС УВД.

# Глава 18

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АС УВД

## 18.1. Общая характеристика математического обеспечения АС УВД

Математическое (программное) обеспечение является неотъемлемой составляющей вычислительной системы. Система математического обеспечения представляет собой комплекс программных средств, обеспечивающих функциональное назначение вычислительной системы. Проблема математического обеспечения АС УВД очень многогранна и должна решаться в соответствии с условиями и особенностями его использования на различных этапах автоматизации соответствующих процессов УВД. При этом решение вопросов математического обеспечения неразрывно связано с учетом: структуры вычислительной системы; специфических особенностей вычислительных процессов по переработке информации при решении функциональных задач системы УВД, характера осуществления связей и обмена информацией между вычислительной системой и средствами сбора и отображения информации, а также взаимодействия диспетчерского состава с вычислительной системой в процессе планирования и непосредственного УВД.

Математическое обеспечение вычислительных систем в АС УВД по сравнению с ЭВМ общего назначения характеризуется рядом особенностей, которые в первую очередь учитывают характер работы вычислительной системы в составе АС УВД, определяемый составом функциональных задач и необходимыми режимами их решения при автоматизации процессов организации планирования и осуществления УВД. Такими особенностями являются: обработка информации и решение задач в разном масштабе времени; большое разнообразие вычислительных и управляющих функций при относительной их неизменности на определенном этапе автоматизации; необходимость обмена информацией с устройствами сбора, регистрации и отображения информации в процессе решения функциональных задач и другие, учитывающие, например, требования надежности функционирования и живучести вычислительной системы, характеризующиеся программной устойчивостью к сбоям, продолжительностью непрерывной работы, возможностью управления вычислительной системы и т. д.

Математическое обеспечение в общем случае разделяется в зависимости от функций, реализуемых программами. При этом выделяются комплексы системных прикладных программ и программ технического обслуживания [63, 201]. Системные программы предназначены для обеспечения самого процесса функционирования вычислительной системы. Комплексы системных программ называют операционными системами, которые являются важнейшей и центральной частью программного обеспечения любой вычислительной системы, используемой в АС УВД. Они осуществляют функции планирования и управления вычислительного процесса с учетом приоритетов решаемых задач, разделения ресурсов и управления обменом данными между устройствами вычислительной системы, организации диалога с оператором (диспетчером). Эффективность операционной системы в основном определяет пригодность вычислительной системы для работы в реальном масштабе.

Наряду с управляющими программами, реализующими перечисленные функции, операционная система содержит обрабатывающие программы. Последние используются для трансляции программ с языков высокого уровня на машинные языки, обеспечивают функции отладки программ пользователей и ряд других функций обслуживания. Современные операционные системы содержат трансляторы с языков различного уровня (ФОРТРАН, ПЛ-1, АЛГОЛ, КОБОЛ, АССЕМБЛЕР и др.). Эффективность использования операционной системы в вычислительной системе в значительной степени определяется характеристиками алгоритмов и программ решения функциональных задач АС УВД, их взаимосвязанностью по последовательности их реализации в соответствии с режимом работы АС, характером использования информации и др.

Алгоритмы и программы решения основных функциональных задач АС УВД образуют систему прикладного математического обеспечения, в которой выделяются библиотеки основных функциональных программ, реализующие вычислительные и логические функции в соответствии с алгоритмами анализа и принятия решений в процессе УВД, и библиотеки стандартных программ, которые представляют собой участки общей управляющей программы, многократно используемые различными основными функциональными программами. Структура библиотек функциональных программ в основном определяется классификацией задач и методами их решения.

В особую группу выделяются прикладные программы, расширяющие функции операционных систем. К ним относятся программы: реализующие режимы телеобработки данных, существенно различающиеся в силу структурных особенностей вычислительных систем при автоматизации процессов УВД; обеспечивающие эксплуатацию системы в реальном масштабе времени; обслуживающие связь диспетчера с вычислительной системой в АС УВД (управление выводом информации на средства отображения и вводом с клавиатуры).

Прикладные программы, являясь средством машинной реализации алгоритмов решения функциональных задач в АС УВД, также, как и алгоритмы, разделяются на проблемно-ориентированные и методо-ориентированные. Прикладное математическое обеспечение АС непосредственного УВД является проблемно-ориентированными. Обеспечение вычислительных систем при автоматизации процессов планирования и организации воздушного движения имеет черты обоих типов ориентации. Связано это в первую очередь с более слабыми временными ограничениями на реализацию вычислительных процессов, а также необходимостью расширения математического обеспечения для решения новых функциональных задач системы УВД, использующих общие для многих областей применения вычислительной техники методы. К последним относятся программы, реализующие, например, методы теории массового обслуживания, обработки статистических данных, математического программирования, имитационного моделирования и другие, которые используются при решении многих задач анализа и синтеза элементов системы УВД и оценки ее эффективности в целом.

Создание математического обеспечения вычислительной системы в АС УВД в настоящее время рассматривается как сложная комплексная проблема. При этом многие вопросы ставятся как сложные оптимизационные задачи. К ним, в частности, относятся, задачи: оптимального распределения памяти между функциональными программами; оптимизации программ по критериям быстродействия и занимаемого объема памяти; оптимальной диспетчеризации при решении функциональных задач, включающих трудно формализуемые проблемы установления приоритетов; определения оптимальных дисциплин обслуживания заявок на выполнение вычислительных и управляющих функций и многие другие. Некоторые решения и обсуждение этих вопросов можно найти в специальных работах [63, 201, 203].

**Контрольные вопросы**

1. В чем состоят основные особенности математического обеспечения АС УВД?
2. Перечислите виды математического обеспечения вычислительных систем в АС УВД.
3. Дайте характеристику системного математического обеспечения.
4. Назовите основные функции прикладного математического обеспечения АС УВД.
5. В чем состоит главное назначение комплекса программ технического обслуживания вычислительных систем в АС УВД?

## 18.2. Принципы организации вычислительных процессов в АС УВД

В общем случае применения вычислительных систем в АС УВД решение функциональных задач обеспечивается в порядке, определяемом требованиями управляемых процессов (развитие воздуш-

ной обстановки в системе непосредственного УВД, планирование воздушного движения, координация разработанных планов и т. д.). При этом автоматизация практически всех процессов в системе УВД связывается с учетом элемента случайности. Так, в вычислительных системах реального времени, используемых для автоматизации процессов УВД, случайным является время поступления сигналов о приеме или передаче отдельных летательных аппаратов на обслуживание в соответствующие зоны УВД. В связи с этим порядок инициирования программ идентификации летательных аппаратов, определения их местоположения и взаимного расположения совокупности летательных аппаратов оказывается также неопределенным.

Сказанное относится не только к порядку потребности запуска программ отработки информации о воздушной обстановке, но к порядку инициирования программ ввода информации с клавиатуры диспетчером или оператором, вывода информации на средства ее отображения и т. д.

Многовариантность ситуаций воздушной обстановки в зоне УВД приводит практически к бесконечному числу возможных реализаций вычислительного процесса в АС УВД. Эти условия обусловливают необходимость рассмотрения вычислительного процесса в АС УВД как случайного.

Сказанное относится в полной мере и к вычислительным системам, автоматизирующим процессы планирования воздушного движения и организации системы УВД. Так, в системе планирования воздушного движения случайный характер имеют исходные данные о заявленных планах, что приводит к непредсказуемости моментов времени начала и окончания обработки данных. В системах, автоматизирующих решение организационных задач, случайной (в смысле непредсказуемости) является сама потребность решения отдельных функциональных задач.

Наконец, для всех процессов является характерной необходимость учета метеообстановки и технического состояния системы УВД и АС УВД.

Случайный характер развития управляемого процесса приводит к тому, что за короткий отрезок времени может возникнуть потребность в выполнении нескольких функциональных программ, в связи с чем возникает очередь запросов (заявок), требующих обслуживания. Эффективность АС УВД во многом определяется своевременностью обработки информации. Поэтому одной из важнейших функций операционной системы является управление очередями запросов, качество реализации которого определяет эффективность организации вычислительного процесса в целом. Некоторые вопросы построения и выбора критериев эффективности управляющих вычислительных систем рассмотрены в работах [67, 199].

Выбор критериев эффективности зависит от наличия ограничений на время пребывания (ожидания обслуживания) заявок в вычислительной системе.

Так, в системах с неограниченным временем пребывания заявок качество функционирования системы характеризуется функционалом

$$c_\omega = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i \lambda_i \omega_i,$$

где $\alpha_i$ — штраф за задержку одной заявки $i$-го типа на единицу времени; $\lambda_i$ и $\omega_i$ — соответственно интенсивность потока и среднее время ожидания заявок $i$-го типа; $m$ — количество заявок.

В системах с абсолютными ограничениями на время пребывания заявок показателем качества функционирования может служить вероятность $P_r(W > \omega^*)$ превышения допустимого времени ожидания.

В случае $m$ потоков заявок потерю качества функционирования из-за нарушения ограничений предлагается оценивать функционалом вида

$$c_p = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i \lambda_i P_r(W_i > \omega_i^*).$$

В теории вычислительных систем рассматриваются также показатели эффективности управляющих вычислительных систем с относительными ограничениями и смешанным характером ограничений на время пребывания заявок в очереди.

Требуемое качество обслуживания заявок обеспечивается путем определения необходимого быстродействия процессора и выбора дисциплины обслуживания, удовлетворяющей ограничениям на время ожидания заявок. Дисциплина обслуживания определяет правила, по которым производится выборка заявки на обслуживание из очереди.

Различают два основных класса дисциплин обслуживания: бесприоритетные и приоритетные [201]. К бесприоритетным относятся дисциплины типа случайного выбора заявки из очереди, дисциплины: «первый пришел — первый ушел» и «последний пришел — первый ушел».

Приоритеты определяют важность заявок в очереди. Один и тот же приоритет в общем случае может быть присвоен группе заявок, тогда приоритетом реализуется одна из бесприоритетных дисциплин обслуживания.

Приоритеты, присваиваемые заявкам одного и того же типа, могут быть фиксированными и нефиксированными. В первом случае значение приоритета устанавливается заранее до запроса на обслуживание и не изменяется в процессе функционирования вычислительной системы. В случае нефиксированного приоритета его значение вычисляется при поступлении заявки на обслуживание либо изменяется во времени в зависимости от характера заявок, ожидающих реализации.

Приоритетные дисциплины обслуживания определяют правила выбора очередной заявки на обслуживание и условия прерывания обслуживания заявок при поступлении запроса с более высоким приоритетом.

Различают дисциплины обслуживания с абсолютным относительным и смешанным приоритетом. Реализация дисциплины первого типа характеризуется безусловным прерыванием обслуживания заявки при поступлении запроса с более высоким приоритетом. Дисциплины обслуживания с относительным приоритетом обусловливают ожидание окончания обслуживания запроса с меньшим значением приоритета. В случае дисциплины обслуживания со смешанным приоритетом обслуживание заявки более низкого приоритета прерывается при поступлении заявки с большим значением приоритета, если первый обслуживается меньше некоторого заданного времени. В противном случае прерывания не происходит.

В теории вычислительных систем разработан ряд модификаций рассмотренных дисциплин обслуживания, ориентированных на различные режимы работы вычислительных систем. При этом решение основной задачи, связанной с определением оптимальной стратегии управления вычислительным процессом, в первую очередь связывается с определением дисциплины обслуживания, обеспечивающей экстремум выбранного показателя эффективности при удовлетворении ограничений, определяемых характером управляемого процесса. Решение этой задачи теоретически может быть получено с использованием методов оптимизации. Однако реализация этих методов для планирования работы современных вычислительных систем практически невозможна из-за сложности моделей задач организации вычислительного процесса, что приводит к неоправданно большим затратам времени, существенно превышающим экономию машинного времени, получаемую в результате использования оптимальных решений.

Поэтому для управления вычислительным процессом в АС УВД используют эвристические алгоритмы, обеспечивающие построение близких к оптимальным планов обслуживания заявок на решение функциональных задач.

Эвристические алгоритмы разрабатываются на базе результатов имитационного моделирования проектируемых вычислительных систем с широким применением методов и моделей теории массового обслуживания.

Рассмотренные выше требования к структурной организации вычислительных систем в АС УВД в значительной степени можно удовлетворить при проектировании вычислительных систем на базе Единой системы ЭВМ (ЕС ЭВМ), созданной совместно с социалистическими странами, входящими в СЭВ. Математическое обеспечение ЕС ЭВМ в своем составе имеет несколько операционных систем и большое количество комплексов прикладных программ [205, 206]. При этом операционные системы ориентированы на определенную ЭВМ или семейство ЭВМ из ряда ЕС. Так, для ЭВМ

ЕС-1010 разработана операционная система ОС-10ЕС, для ЭВМ ЕС-1021 — малая операционная система МОС ЕС. Эти операционные системы учитывают сферу применения моделей ЭВМ. Обе ЭВМ удобно использовать в многомашинных вычислительных системах в качестве машин-сателлитов (находящихся на низших уровнях иерархической структуры вычислительной системы), предназначенных для организации первичной обработки информации, поступающей с различного рода датчиков в автоматизированной системе. При этом главное назначение ОС-10ЕС как раз состоит в управлении вводом-выводом информации и связью с другими ЭВМ вычислительной системы. МОС ЕС используется для управления вычислительным процессом в режиме пакетной обработки без мультипрограммирования. Для мультипрограммного режима обработки информации используются операционные системы ОС ЕС с управляющей программой MFT (мультипрограммирование с фиксированным числом задач) и ОС ЕС с управляющей программой MVT (мультипрограммирование с переменным числом задач). Операционная система с управляющей программой MFT обеспечивает статическое, а с управляющей программой MVT динамическое распределение ресурсов вычислительной системы между одновременно выполняемыми задачами. При этом ОС ЕС с управляющей программой MVT планируют порядок обслуживания заявок и реализуют дисциплины обслуживания с учетом поступающих в систему программ. В ОС ЕС может быть назначено до 15 приоритетов, что соответствует возможностям операционной системы обслуживать 15 заявок одновременно. ОС ЕС ориентирована в основном на режим пакетной обработки информации. Однако ОС ЕС с управляющей программой MVT обеспечивает оперативную обработку информации и в режиме разделения времени.

Сопоставление перечисленных основных характеристик операционных систем ЕС ЭВМ с требованиями, предъявляемыми к организации вычислительных процессов в АС УВД позволяет ориентировочно определить базовые модели ЭВМ для автоматизации процессов УВД различного вида.

Проведенный краткий анализ характеристик и требований, предъявляемых к вычислительным системам, не исчерпывает проблемы их построения в АС УВД.

Решение этой проблемы должно основываться на комплексном применении методов общей теории вычислительных систем и опыта создания АС УВД в СССР и за рубежом.

### Контрольные вопросы

1. Чем обусловлены основные трудности организации вычислительных работ в АС УВД?

2. Назовите примеры показателей эффективности организации вычислительных процессов.

3. Перечислите основные виды дисциплин обслуживания при реализации вычислительных процессов.

4. Приведите основные характеристики операционных систем ЕС ЭВМ.

## 19.1. Особенности воздушного движения в районе аэродрома и аэроузловой зоны

Воздушное пространство в районе аэродрома подразделяется на район подхода и зону взлета и захода на посадку летательных аппаратов. Плотность воздушного движения в районе подхода больше, чем в РДС, при одинаковой интенсивности движения. Для обеспечения безопасности воздушного движения при управлении встречными потоками летательных аппаратов обычно устанавливаются разнесенные входные и выходные коридоры. Радиус района подхода одного аэропорта обычно не превышает 100—120 км. При близком расположении двух и более аэропортов их районы подхода объединяются в общую аэроузловую зону, радиус которой составляет 150—180 км.

По мере приближения к аэродрому плотность воздушного движения увеличивается, и в зоне взлета и захода на посадку она еще выше, чем в районе подхода. Радиус этой зоны обычно составляет 30—35 км. Таким образом, воздушное пространство района аэродрома характеризуется сравнительно небольшими размерами, большой плотностью воздушного движения и высокой динамичностью полетов. Эти особенности, в свою очередь, влияют на структуру автоматизированных систем УВД.

При высокой интенсивности воздушного движения для уменьшения нагрузки на диспетчера зона подхода может быть разделена на секторы. Это наиболее характерно для воздушных зон крупных административных центров. Таким образом, возникает задача организации оперативной взаимосвязи внутри зоны подхода между секторами. Автоматизация процессов непосредственного УВД должна осуществляться в совокупности с использованием экстенсивных мер снижения нагрузки на диспетчера (увеличением количества секторов), совершенствованием технических средств и пр. Перегрузки диспетчеров зоны взлета и захода на посадку можно избежать при комплексном воздействии организационных мероприятий, автоматизации процесса управления, путем совершенствования радиотехнических средств навигации и УВД, строительства новых ВПП и т. д.

В районе аэродрома в большей степени, чем в РДС, загружены каналы оперативного взаимодействия между диспетчерами и между диспетчерами и экипажами летательных аппаратов. Для снижения радиообмена совершенствуется организационная структура зон УВД, что выражается, например, в использовании стандартных траекторий полета летательных аппаратов в районе аэродрома. В зонах с большой интенсивностью воздушного движения для выработки оптимальной стратегии использования стандартных траекторий в реальном времени должна решаться довольно слож-

ная задача вычислительно-логического характера, для решения которой возможно и целесообразно применять ЭВМ.

Поток вылетающих летательных аппаратов носит упорядоченный характер, плотность этого потока уменьшается по мере удаления от ВПП. Для потока прилетающих летательных аппаратов характерны случайные флуктуации, которые могут достигать существенных значений, например, в связи с ограничением или временным прекращением полетов по метеоусловиям и пр. Поэтому система УВД должна быть готова к выдерживанию «пиковых» нагрузок, иногда существенно превышающих средние. Следовательно, способность нормального функционирования АС УВД в этом случае не должна нарушаться. Однако в связи с тем, что предельные нагрузки реализуются достаточно редко, большой запас системы по пропускной способности не должен приводить к существенному удорожанию АС УВД.

Противоречивые требования, выдвигаемые к АС УВД, могут быть удовлетворены при создании систем, допускающих постепенное увеличение мощности и последовательную модернизацию.

**Контрольные вопросы**

1. Какие зоны УВД входят в состав РА?
2. Каковы их средние размеры?
3. Опишите основные особенности воздушного движения в РА.
4. Чем вызвана необходимость сочетания автоматизации процессов непосредственного УВД с экстенсивными мерами повышения пропускной способности зон УВД?

## 19.2. Московский аэроузловой центр УВД

Управление воздушным движением в Московском аэроузловом центре осуществляется с использованием планов полетов, автоматически передаваемых из вычислительного комплекса Московского трассового центра. ЭВМ аэроузлового центра обрабатывает также информацию, поступающую от первичных и вторичных радиолокаторов. Совокупность радиолокационных данных вместе с информацией, синтезированной ЭВМ, поступает на индикаторы диспетчеров.

Информация от трех РЛС передается по трем узкополосным и трем широкополосным микроволновым каналам. Каждый узкополосный канал состоит из двух телефонных линий, скорость передачи данных составляет 2400 бит/с. Информация, передаваемая по этим каналам, содержит сведения о координатах летательных аппаратов и данные, поступившие от вторичных РЛС. При этом может использоваться как стандарт ИКАО, так и стандарт СССР. Аппаратура передачи данных дублируется, а наличие двух телефонных линий связи обеспечивает соответствующее дублирование и канала связи. Радиолокационная информация, поступающая по широкополосному каналу, позволяет дополнительно использовать

необработанное радиолокационное изображение от первичных РЛС. Этот канал не дублируется, так как аналогичная информация содержится в данных, поступающих по узкополосным линиям.

Трассовый и аэроузловой центры связаны четырьмя узкополосными телефонными линиями со скоростью передачи информации 2400 бит/с. По ним передаются обработанные планы полетов. Они также используются для автоматизированной передачи управления летательным аппаратом между диспетчерами и т. д.

В случае повреждения линий связи с трассовым центром информация о планах полетов может быть в сокращенном виде введена в аэроузловой центр с использованием аппаратуры, состоящей из двух буквенно-цифровых индикаторов и устройства печати данных.

Зона, обслуживаемая аэроузловым центром, примерно в 4 раза меньше зоны трассового центра. Количество одновременно обслуживаемых летательных аппаратов равно 180.

Планы полетов из трассового центра автоматически передаются в аэроузловой. Сюда могут также передаваться сообщения об убытии и прибытии. Эти сообщения представляются в виде списков убывающих или прибывающих летательных аппаратов на экранах индикаторов диспетчеров убытия-прибытия. Московский аэроузловой центр УВД имеет четыре вспомогательных места с устройством печати стрипов.

На всех диспетчерских пунктах, расположенных в вышках четырех аэропортов Московской зоны, имеются два буквенно-цифровых индикатора и устройство печати данных. По полетной информации о прибывающих и убывающих летательных аппаратах, отображаемой на экранах индикаторов, диспетчер может проверять расчетное время вылета и другие данные. Передача управления между двумя смежными секторами или центрами УВД осуществляется автоматически с использованием радиолокационных средств без голосовой связи.

В состав рабочего оборудования аэроузлового центра УВД входят 22 рабочих места диспетчера. Каждое рабочее место оборудовано радиолокационным пультом. Кроме того, имеются еще шесть пультов, которые могут использоваться для расширения системы обучения диспетчеров, а также как резерв при техническом обслуживании. В секции полетных данных имеются два буквенно-цифровых индикатора и устройство печати данных.

Радиолокационный пульт имеет синтетический индикатор кругового обзора, электронный индикатор данных, клавишный пульт и датчик прямоугольных координат. Четыре вспомогательных пульта имеют устройства для печати стрипов. Все пульты оборудованы аппаратурой голосовой связи по каналам «земля—земля» и «земля—борт».

Вычислительный комплекс системы разделен на два основных блока, работающих параллельно, с автоматическим переключением. Каждый вычислительный блок имеет один центральный процессор и два запоминающих устройства на магнитных сердечни-

ках. Одно из запоминающих устройств образует комплекс с многоканальным доступом, к которому может обращаться процессор другого вычислительного блока.

В состав индикаторного оборудования входит синтетический динамический индикатор и электронный индикатор данных. Эти индикаторы объединяются в группы с одним генератором. Каждый генератор работает только со своей группой, состоящей обычно из шести индикаторов. Индикаторы могут быть перегруппированы в резервные конфигурации — без дублирования оборудования.

Диаметр размера изображения на индикаторе с синтезированными символами равен 500 мм. Изображение состоит из меток, знаков, символов и линий. Элементы изображения генерируются дискретным способом. Каждый индикатор осуществляет автономное усиление и сдвиг изображения. Частота повторения зависит от сложности изображения и изменяется в пределах от 20 до 40 Гц, не вызывая мерцания на экранах. Размер экрана индикатора составляет 210×290 мм, изображение на его экране состоит из знаков.

В аппаратном зале имеется контрольное место, с которого можно проверить все рабочие места диспетчеров. Установлен также пульт оператора системы с телетайпом для связи с другими ЭВМ. Автономное программное обслуживание осуществляется с операторного пульта ЭВМ, оборудованного двумя индикаторами «Альфаскоп».

**Контрольные вопросы**

1. Какие каналы связи используются в Московской аэроузловой АС УВД для передачи радиолокационной информации?
2. Какова роль широкополосных каналов?
3. В каком виде передаются планы полетов?
4. Как организован вычислительный комплекс системы?
5. Опишите возможности диспетчерских индикаторов, использованных в системе.

## Глава 20

## ТРАССОВЫЕ АС УВД

### 20.1. Особенности деятельности диспетчеров в трассовых АС УВД

Деятельность диспетчеров трассовых АС УВД в значительной степени определяется теми принципами и идеологией, которые приняты в данной стране, а также структурой и уровнем автоматизации, достигнутым в используемой системе. Однако можно выделить некоторые общие черты в принятой технологии работы диспетчеров, характерные почти для каждой из известных трассовых

АС УВД. Так, обычно среди диспетчеров АС УВД районных центров различают группу планирования полетов и группу непосредственного управления движением в каждом секторе района. Группа планирования обычно должна осуществлять прием и передачу информации в планах полета, ввод исходной информации в ЭВМ, контроль и передачу результатов расчета, координацию планов полета летательных аппаратов, следующих через несколько секторов района, контроль за распределением летательных аппаратов и их потоков по трассам различных секторов. Группа управления в лице диспетчера радиолокационного управления осуществляет УВД в пределах границ своего сектора, передавая команды экипажам управляемых им летательных аппаратов. Здесь также осуществляется текущее планирование воздушного движения в границах своего сектора и координация текущих планов с соседними секторами и группой планирования.

Основной задачей группы планирования является составление бесконфликтных планов полета и формирование потоков летательных аппаратов, обеспечивающих наилучшую (равномерную) загрузку секторов. Получая информацию о вылетающих летательных аппаратах с аэродромов, расположенных в границах района, а также планах полета прилетающих летательных аппаратов с аэродромов, расположенных вне границ района, диспетчер группы планирования, пользуясь аппаратурой ввода-вывода, осуществляет расчет бесконфликтных планов полета с помощью ЭВМ и согласует их с диспетчерами группы управления каждого сектора, через которые должны следовать указанные летательные аппараты. Для осуществления этих и подобных им операций, а также операций коррекции планов и перепланирования диспетчерские пункты группы планирования трассовых АС УВД, как правило, оборудуются пультами, на которых располагаются: ТЗИ, устройства ввода-вывода для обмена информацией со смежными центрами, средства ввода и получения информации от ЭВМ, телетайпные, телефонные и другие средства связи. Размещение указанных устройств осуществляется обычно с учетом результатов моделирования и исследований по вопросам инженерной психологии и эргономики применительно к деятельности операторов подобного вида.

Такие исследования позволяют устанавливать размеры, форму и цвет буквенно-цифровых изображений на индикаторах, форму и чередование клавишей и других органов управления таким образом, чтобы свести к минимуму возможность ошибки диспетчера, снизить его утомляемость и повысить пропускную способность системы УВД.

Основными задачами группы управления принято считать обеспечение безопасности полетов путем соблюдения безопасных интервалов и удержание летательных аппаратов на траекториях полета, соответствующих полученным от группы планирования планам полета. Используя информацию о планах полета, действительном движении летательных аппаратов метеоинформацию и пр.,

диспетчер радиолокационного управления принимает решение по УВД. При этом иногда используются рекомендации ЭВМ. Команды экипажам передаются обычно по каналу речевой радиосвязи, хотя имеются варианты АС УВД, где процесс радиообмена частично автоматизирован. В случае отклонения летательного аппарата от плана полета диспетчер управления принимает решение либо об исправлении положения летательного аппарата путем выдачи соответствующей команды экипажу, либо об исправлении (коррекции) плана полета. В последнем случае процесс перепланирования, как правило, охватывает и группу планирования, которая осуществляет цикл коррекции и согласования новых планов. Диспетчер управления осуществляет также прием и передачу летательного аппарата на управление в смежные секторы путем соответствующих пультовых операций. Для нормальной работы группы управления диспетчерские пункты оснащены пультами, на которых устанавливаются индикаторы кругового обзора, ТЗИ либо совмещенные (синтетические) план-индикаторы, синтезирующие плановую и радиолокационную информацию, изображение ориентиров, сигналов о конфликтных ситуациях и т. д. Здесь же располагаются клавишные устройства взаимодействия с ЭВМ, радио-, телефонная и другая аппаратура. Значительную роль играют устройства документального получения и отображения информации, устройства распечатки, графопостроители. Деятельность группы управления подвергается тщательным инженерно-психологическим исследованиям, результаты таких исследований находят свое отражение в совершенствовании оборудования рабочих мест диспетчеров управления. Учитывая значительную психологическую нагрузку диспетчеров группы управления, его деятельность часто анализируется с помощью специальных программ в ЭВМ АС УВД и результаты этого анализа используются для поддержания общей загруженности зоны в оптимальных диапазонах.

Несмотря на то, что разделение диспетчеров трассовых АС УВД на группы планирования и управления достаточно обоснованно, имеются варианты трассовых АС УВД, где функции обеих групп выполняются объединенной группой. Подобные особенности ярче выражаются при более подробном и детальном анализе всех аспектов деятельности диспетчеров в различных АС УВД. Варианты подробной пооперационной технологии для различных вариантов АС УВД резко отличаются друг от друга, и попытки описания комплексной технологии, пригодной для всех либо значительной группы трассовых АС УВД, по-видимому, можно считать безуспешными.

**Контрольные вопросы**

1. Какие функции выполняет группа планирования трассовых АС УВД?
2. Какие задачи решает группа управления?
3. В чем заключается взаимодействие групп управления и планирования?
4. С какой целью проводятся инженерно-психологические исследования деятельности диспетчеров?

Первыми АС УВД на трассах следует считать системы, одна из которых была внедрена в США в 1955 г., а другая, спроектированная для гражданской авиации, внедрена в Голландии в 1957 г. С тех пор трассовые системы значительно изменились, наиболее существенными изменениями следует считать внедрение вторичных РЛС первичной обработки радиолокационной информации с целью ее трансляции, многократное расширение программ ВК, включающих программы планирования и коррекции планов, внедрение ТЗИ, отображающих большое количество цифро-буквенных знаков, внедрение экранов-индикаторов РЛС новых типов и др. Все это позволило во многом расширить тактические возможности трассовых АС УВД и перейти от управления отдельными летательными аппаратами на трассах к формированию и управлению их потоками. Одним из наиболее характерных примеров трассовой АС УВД, по которому можно судить о современном состоянии автоматизации процессов при УВД на трассах, является АС УВД, установленная в 20 трассовых центрах США [215, 217]. Внедрению подобных трассовых АС УВД в США предшествовала стандартизация и унификация формы планов полета и регламентных сообщений для внутренних и международных рейсов. Такие планы, составленные в соответствии с установленным стандартом, совпадающим с Международным стандартом, принятым ICAO в 1968 г., вводят непосредственно в ВК, что дает возможность автоматической их обработки и рассылки для целей УВД. Кроме информации о планах полета, в ВК системы вводится также информация о действительном движении летательных аппаратов. Для этого радиолокационная информация от первичных и вторичных РЛС проходит первичную обработку и преобразование в цифровую форму. Кроме того, в ВК с помощью телетайпов и других устройств ввода (вывода) вводится информация от соседних трассовых и аэродромных АС УВД. Вся эта информация, переработанная в ВК, представляется диспетчеру уже в «упорядоченном» виде. На панорамных индикаторах отображается воздушная обстановка в секторе управления данного диспетчера. Отметки летательных аппаратов сопровождаются буквенно-цифровыми формулярами, содержание которых может изменяться по запросу диспетчера. Кроме непосредственного наблюдения за движением летательных аппаратов с помощью индикатора на диспетчерском пункте осуществляется распечатка ленточных бланков-стрипов хода полета летательного аппарата.

Диспетчерские пункты различных секторов оснащены техническими средствами автоматического приема и ввода новых и измененных планов полета. При этом координация действий диспетчеров соседних секторов осуществляется с помощью буквенно-цифровых и таблично-знаковых индикаторов путем выполнения клавишных операций. Здесь также предусмотрена и автоматическая передача планов полета от одного сектора к другому вдоль трас-

сы. Все это позволяет существенно разгрузить диспетчера и освободить его от выполнения ряда операций рутинного характера. Визуальный обмен информацией между секторами вместо применявшегося ранее голосового значительно упрощает взаимодействия между диспетчерами. На диспетчерских пунктах предусмотрено также отображение на экранах индикаторов географических карт и ориентиров данной зоны УВД, а также метеоинформации в виде, например, границ грозового фронта.

Структура трассовой АС УВД США включает центральную ЭВМ, ЭВМ канала отображения и пульты диспетчера с устройством отображения и ввода данных. ЭВМ канала отображения, получая данные от более мощной центральной ЭВМ, преобразует их для отображения на индикаторах диспетчерских пультов. Модульная конструкция обеих ЭВМ позволяет использовать различные их варианты, наращивая блоки при использовании в трассовых центрах с наибольшей интенсивностью. Так, в зависимости от интенсивности воздушного движения в США используются три варианта трассовых АС УВД, отличающихся в основном лишь типом центральной ЭВМ [215]: 9020А на базе ЭВМ IBM 360/20; 9020 — ЭВМ IBM 360/50; 9020Е—ЭВМ IBM 360/65 для трассовых центров с наибольшей интенсивностью. Кроме того, в пяти самых крупных центрах, где осуществление всех связанных с УВД операций требует наибольшей емкости памяти и быстродействия ЭВМ, в канале отображения также используется мощная ЭВМ универсального типа IBM 360/65. Нормальное функционирование трассовых центров в большой степени зависит от хорошо разработанных, разветвленных, полных и отлаженных программ математического обеспечения, которые постоянно совершенствуются. Все программы математического обеспечения трассовых АС УВД в США можно разделить условно на четыре группы. Первая включает программы, связанные с обработкой плановой информации, а вторая — информации от РЛС. Третья группа программ является контролирующей. К четвертой можно отнести программы рассылки сообщений, связи и др.

Планы полетов обрабатываются в центральной ЭВМ с участием шести цикловых программ (систем), включающих около сорока подпрограмм. При этом все ЭВМ трассовых и аэродромных АС УВД, находящиеся на пути следования летательных аппаратов, взаимосвязаны и осуществляют передачу планов полета и коррекций к ним для диспетчеров соответствующих пунктов по маршруту. Программы обработки входной плановой информации позволяют ЭВМ обращаться к памяти, где внесены расписания рейсовых полетов авиакомпаний, а также получать сведения — заявки на полеты от аэродромных АС УВД, в которых составляются предварительные планы полетов. Возникающие изменения и дополнения вводятся в диспетчерских пунктах по маршруту в соответствии с характером протекания полета. Предварительные планы, а также текущие изменения в них (текущие планы) составляются в ЭВМ для ряда контрольных точек вдоль маршрута и представляются

диспетчеру в виде ленточных бланков-стрипов. Распечатка стрипов осуществляется устройством, расположенным непосредственно на диспетчерских пунктах, и происходит перед входом летательного аппарата в данный сектор УВД. На стрипах содержатся сведения, позволяющие идентифицировать летательный аппарат и его местоположение (номер и позывной, тип самолета, код маяка, координаты), плановые данные (время и высоту пролета контрольных точек, трассу полета). Такие данные передаются последовательно по секторам, через которые проходит маршрут полета.

Значительная часть программ для ЭВМ трассовой АС УВД управляет работой радиолокаторов, а также обрабатывает радиолокационные данные. Важной группой программ являются также программы контроля, реагирующие на факты переполнения, сбоя и другие отказы, требующие изменения структуры ЭВМ при вводе в действие нового элемента или замены одного из ее элементов.

Применение трассовых АС УВД США на протяжении ряда лет по мере накопления опыта их эксплуатации и выявления недостатков потребовало проведения существенного их совершенствования. Для этого была разработана специальная программа совершенствования трассовых средств УВД, входящая в общий План развития системы УВД США. Программа совершенствования включает достаточно широкий план разработки, моделирования, экспериментальных исследований и внедрений трассовых АС УВД, новых организационно-структурных, технических и технологических решений. Значительное внимание при этом уделяется разработке и усовершенствованию математического обеспечения. Например, для моделирования воздушной обстановки и процессов УВД в реальном и ускоренном масштабах времени. Изменения и усовершенствования направлены на автоматизацию процессов планирования, формирования потоков и передачи сообщений о планах полета и о их выполнении в созданный в начале 70-х годов единый Командный центр управления потоками воздушного движения. Программа также включает разработку новой вычислительной аппаратуры и математического обеспечения к ней.

В аспекте технического оснащения систем предполагается внедрение средств для контроля потоков воздушного движения на местах, электронных индикаторов отображения, электронного (в виде видеозаписи) документирования информации на рабочем месте диспетчера, систем сопряжения для автоматизации процессов ввода (вывода) и регистрации, аппаратуры и математического обеспечения для сопряжения трассовой АС УВД с системой вторичной радиолокации (ВРЛ) с дискретной адресацией и линиями связи. Сюда входят также такие новые виды устройств, как устройства отображения сообщений пилотам, донесений пилотов и другой полетной информации с борта летательного аппарата, а также аппаратура обнаружения и предупреждения задержек и конфликтных ситуаций. Введение усовершенствований должно обеспечить по мнению разработчиков программы, автоматическую обработку планов полета и радиолокационных данных, автоматическую вы-

дачу разрешений на полет и обмен данными с единым Командным центром управления потоками воздушного движения и аэродромными АС УВД, а также наблюдение и регистрацию полетов, осуществляемых по правилам визуальных полетов. Все это должно привести к увеличению пропускной способности трассовых систем АС УВД, их надежности, обеспечивающей нормальное функционирование в условиях сбоев или частичных отказов элементов. Таким образом, в США создается одна из наиболее крупных в мире систем, образующих общегосударственную систему УВД, объединяющую 20 трассовых и 60 аэродромных центров УВД с громадным количеством аппаратуры АС УВД, установленной в каждом из них.

При этом каждая из АС УВД обеспечивается автоматической связью в реальном масштабе времени не только с любым из остальных центров и единым Командным центром, но также и с военными базами, центрами общегосударственного управления по обслуживанию полетов и оперативными центрами авиакомпаний.

**Контрольные вопросы**

1. Где и когда были внедрены первые трассовые АС УВД?
2. Приведите общее описание функционирования трассовой АС УВД США.
3. Какие основные элементы включает структура трассовой АС УВД США?
4. Дайте описание функций центральной ЭВМ трассовых АС УВД США и состав основных программ математического их обеспечения.
5. Какие основные направления и тенденции в совершенствовании трассовых АС УВД США известны из публикаций?

## 20.3. Трассовые АС УВД Европы

Автоматизация процессов УВД на трассах других стран также имеет свою историю и содержит ряд существенных особенностей, отражающих в основном сложившуюся идеологию УВД в каждой из них, принятое деление воздушного пространства, структурные и аэронавигационные аспекты. В организации Евроконтроль наряду с решением целого ряда общих задач, связанных с летной эксплуатацией, значительное внимание уделяется и автоматизации процессов УВД на трассах.

Для обеспечения безопасности полетов над территорией Бельгии, Нидерландов и северных районов ФРГ внедрена АС УВД MADAP, которая обеспечивает контроль и управление воздушным движением на больших высотах (начиная с 7500 м и выше) [217]. АС УВД MADAP предназначена в основном: для обработки информации, получаемой от соседних центров УВД для составления планов полета; обработки, передачи и отображения информации совокупности первичных и вторичных РЛС; корреляции, хранения в памяти, проверки и преобразования всех видов информации и ее отображения и документирования на диспетчерских пунктах; автоматического изменения структуры системы при отказе одной или нескольких ЭВМ.

Для осуществления этих функций в системе MADAP используется восемь ЭВМ, две из которых — основные типа IBM 360/50, а остальные периферийные типа ТР-86. Каждая из периферийных ЭВМ ТР-86 используется для взаимосвязи и управления между основной ЭВМ и двумя секторами. Весь район управления, контролируемый системой, содержит семь секторов. При нормальном функционировании работают лишь четыре периферийные ЭВМ. Система MADAP обеспечивает возможность наблюдения за выполнением 200—250 планов полетов. Радиолокационная информация в систему поступает в цифровом виде от первичных и вторичных радиолокационных станций, причем несколько дополнительных вторичных РЛС не используется, а находится в резерве. В системе на основе плана полета производится периодическое сопоставление истинного и расчетного положения летательного аппарата. При возникновении расхождения на индикаторе отображаются две отметки, соединенные прямой линией, сигнализирующей диспетчеру о необходимости принятия мер по восстановлению «плановой» воздушной обстановки, либо по коррекции плана.

Индикация летательного аппарата осуществляется с использованием буквенно-цифровых формуляров в так называемом «синтетическом» виде, когда наряду с отметкой летательного аппарата, полученной от первичной и вторичной РЛС, скорректированной с планом полета, изображаются еще и указатель направления полета, длина которого соответствует прогнозируемому положению летательного аппарата через 1 мин, а также искусственный след — послесвечение в виде трех точек, облегчающее идентификацию летательного аппарата при маневрах. Для передачи информации от РЛС в системе MADAP используются односторонние высокоскоростные (2400 бит/с) телефонные каналы; для связи с взаимодействующими подразделениями, метеоцентрами и военными службами УВД используются двусторонние телефонные линии со скоростью передачи информации 1200 бит/с; между пунктами УВД связь осуществляется по двусторонним телеграфным линиям с пропускной способностью 50 бит/с. К особенностям системы MADAP, кроме структурных особенностей и принятой формы отображения, следует отнести наличие в каждом из секторов пункта планирования со специальными индикаторами, индикаторов ввода информации «касанием» и др.

Значительную роль при автоматизации процессов УВД в зонах, охватываемых организацией «Евроконтроль», играет экспериментальный центр, оснащенный мощным моделирующим комплексом, включающим динамические имитаторы воздушной обстановки. Моделирование процессов УВД в этом центре во многом определяет пути автоматизации в отдельных центрах при внедрении новых технических средств и организационных решений. В процессе исследований имитатор сопрягается с новым опытным оборудованием, внедряемым с целью автоматизации.

Это позволяет сравнительно просто выявить его эффективность в различных условиях.

Кроме системы MADAP, для автоматизации процессов УВД на трассах внедрен и используется также ряд других систем: «Mediator» в Англии, «Cautra» во Франции. Известны разработки ряда фирм, предлагающих проекты трассовых АС УВД. К ним можно отнести системы фирм «Raytheon» США, «Stansaab» в Швеции и др. Каждый из вариантов этих систем имеет свои характерные особенности, отражающие ту идеологию и организационно-структурные решения, которые приняты в случаях предполагаемого использования систем. Так, АС УВД «Mediator» в отличие от системы MADAP предназначена для осуществления УВД военных и гражданских самолетов не только в верхнем воздушном пространстве (начиная с 7500 м и выше), но и на высотах от 1500 м и выше в пределах неконтролируемого воздушного пространства в соответствии с принятым делением воздушного пространства [231].

Наиболее характерной особенностью системы «Mediator» можно считать использование в ней яркостных индикаторов кругового обзора, обладающих высоким качеством, использование системы резервирования запросчиков вторичных РЛС, наличие ввода информации «касанием» и др. Практическая эксплуатация системы «Mediator» позволила выявить ряд ее недостатков, к которым можно отнести: низкую надежность средств математического обеспечения; неудачную реализацию ручного ввода в ЭВМ планов полетов летательных аппаратов, что вызывает трудности в работе диспетчеров.

Трассовая АС УВД «Cautra» использует семь ЭВМ типа CJJ 100070 в трех районах, на которые разделено воздушное пространство Франции. В двух центрах непосредственно для УВД используется лишь одна из ЭВМ, другая — резервная. В Северном центре, где установлены три ЭВМ, третья применяется для разработки и отладки новых программ, но может использоваться и для осуществления УВД. Математическое обеспечение системы включает программы для работы в реальном масштабе времени и ориентировано на специально созданный для целей УВД язык ASTRE. На диспетчерских пунктах системы, кроме печатающих устройств и индикаторов РЛС, используются буквенно-цифровые индикаторы и устройства Digitatron для связи с ЭВМ. Эти устройства позволяют диспетчеру производить ввод данных в ЭВМ «касанием». т. е. путем касания пальцем элементов информации, которые должны быть обработаны в ЭВМ. Достаточно полное и разветвленное математическое обеспечение системы позволяет выполнять ЭВМ значительное число важнейших для УВД функций, таких, как: прогноз характера воздушного движения в зоне управления диспетчера радиолокационного контроля; осуществление автоматического сопровождения воздушных судов, движение которых приведет к конфликтной ситуации; определение нагрузки диспетчера и поддержание ее в оптимальном диапазоне. Последняя функция выделяет программы ЭВМ АС УВД «Cautra» из ряда других.

В системе «Cautra» для передачи информации используются следующие линии: телеграфные (50 бит/с) для передачи планов

полетов и метеорологических данных в ЭВМ; асинхронные (133 бит/с) при связи с телетайпами для передачи планов полетов; асинхронные (180 бит/с) для связи с устройствами, печатающими стрипы на рабочих местах диспетчеров; асинхронные (2400 бит/с) для передачи информации от РЛС и связи с соседними АС УВД.

**Контрольные вопросы**

1. Какие страны Западной Европы состоят в организации «Eurocontrol»?
2. Приведите основные сведения о трассовой АС УВД MADAP.
3. Какую роль при автоматизации УВД играет моделирование процессов в экспериментальном центре?
4. Какие еще варианты АС УВД используются в Европе?
5. Назовите наиболее характерные особенности АС УВД «Mediator».

## Глава 21

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АС УВД

### 21.1. Основные тенденции развития АС УВД

Существующие системы УВД, базирующиеся на радиолокационных источниках информации, имеют существенные резервы для развития и совершенствования, к которым относятся: повсеместное внедрение вторичной радиолокации; переход к дискретной адресации запросов, формализация стандартных сообщений и автоматизированная их передача по каналу «диспетчер—борт»; расширение списка задач, решаемых ЭВМ системы УВД, и повышение качества их решения; совершенствование методов и средств представления информации диспетчеру, а также технологии работы диспетчера и т. д.

В этих направлениях ведутся научные исследования и технические разработки, позволяющие как улучшать существующие АС УВД, так и проектировать системы следующего поколения. При этом большое значение имеет принцип преемственности, который позволяет модернизировать уже эксплуатируемые системы и внедрять новые системы более высокого уровня постепенно и без ломки организации и технологии УВД. Он дает также возможность обеспечивать взаимодействие АС УВД с различным уровнем автоматизации.

Одной из важнейших задач развития АС УВД является создание систем, удовлетворяющих увеличивающейся интенсивности воздушного движения без пропорционального увеличения количества диспетчеров и технического обслуживающего персонала. Для успешного решения этой задачи необходимо:

внедрить математическое обеспечение для обнаружения тенденций к конфликтным ситуациям и их ликвидации;

использовать электронное коммутационное оборудование телефонной связи;

усовершенствовать существующую систему взаимодействия «человек — машина»;

ввести автоматическое оборудование в аэродромных узлах для обеспечения выхода летательного аппарата в заданный пункт в назначенное время и контроля за соблюдением интервалов между ними при посадке для районов аэродрома с высокой интенсивностью воздушного движения;

повысить точность, надежность и пропускную способность радиолокационных средств;

внедрить дискретную адресацию вторичных радиолокационных запросов с целью улучшения обзорных систем УВД и создания автоматизированной линии передачи данных «борт—земля»;

совершенствовать технологию управления воздушным движением.

Большое значение имеет также и автоматизация процессов планирования полетов. В районах с высокой интенсивностью воздушного движения использование бортовых ответчиков должно стать обязательным. В настоящее время рассматривается необходимость использования сигнализатора опасных сближений на борту и системы предупреждения столкновений летательных аппаратов. Однако внедрение такой аппаратуры потребовало бы больших экономических затрат.

Система УВД является одним из основных звеньев, решающих задачу обеспечения высокой экономичности полетов при безусловном соблюдении жестких ограничений, накладываемых требованием обеспечения безопасности полетов. В настоящее время система УВД обладает неодинаковыми возможностями выполнения своих функций в различных районах страны, что определяется неравномерной плотностью движения, неравномерным распределением потоков летательных аппаратов в пространстве и времени и различием технических средств навигации и УВД. Более эффективные технические средства УВД используются в тех районах, где в них ощущается большая необходимость, серьезное внимание уделяется районам с высокой плотностью и сложной структурой потоков летательных аппаратов. Однако это не означает, что совершенствование организации и технических средств УВД в районах с меньшей интенсивностью движения — менее важная проблема. В связи с интенсивным освоением новых районов и ростом потребностей в воздушных перевозках создание технически оснащенных систем УВД в этих районах представляет собой задачу огромного значения.

Одним из направлений решения этой задачи является усовершенствование радиолокационных станций. Некоторые из действующих РЛС требуют замены, модернизации или усовершенствования как для того, чтобы добиться большей степени обеспечения воздушных трасс радиолокационным контролем, так и для сопряжения их с оборудованием АС УВД.

Важнейшей задачей системы УВД является определение трех координат летательного аппарата. В связи с тем, что система УВД

должна обеспечивать управление все возрастающим количеством летательных аппаратов, соответственно должны улучшаться эксплуатационные и технические характеристики средств наблюдения за воздушным пространством и повышаться степень их использования. В начальный период функционирования системы УВД информацию о трех координатах летательного аппарата получали с помощью речевых сообщений экипажа. Внедрение радиолокации позволило непосредственно наблюдать картину воздушной обстановки в плане и увеличило пропускную способность системы УВД. Использование вторичной радиолокации, исключившей речевые сообщения о текущей высоте летательного аппарата, позволившей автоматизировать идентификацию летательных аппаратов и получать ряд дополнительных сведений без участия экипажа, явилось новой важной ступенью расширения возможностей системы УВД.

Однако система вторичной радиолокации с общим запросом обладает существенными недостатками, основным из которых является возможность ложных запросов по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны и от соседних запросчиков. Следующим этапом усовершенствования системы радиолокационного обзора воздушного пространства явилась дискретная адресация запросов, повысившая разрешающую и пропускную способность радиолокационного комплекса.

Несмотря на столь быстрое и плодотворное развитие радиолокационной техники (создание вторичной радиолокации с дискретной адресацией отделяет от первого использования первичных РЛС в целях УВД менее двух десятков лет), РЛС уже не могут удовлетворить всем требованиям современной авиации.

Появилась потребность создания новых средств обзора воздушного пространства.

Применение вторичной радиолокации уменьшает засветки от грозовых очагов на экранах индикаторов. Использование синтезированной картины воздушной обстановки позволяет полностью освободить экран от ложных отметок и засветок и отображать метеорологическую обстановку на экране индикатора, что повышает безопасность полетов. Совершенствование формы представления информации диспетчеру является одним из важнейших направлений развития АС УВД.

Введение в эксплуатацию вычислительных машин, оборудования для обновления информации в ЭВМ, каналов для отображения информации, поступающей от ЭВМ, обеспечивает возможность быстрого и эффективного приема, запоминания и обработки планов полетов. Предусматривается возможность автоматизации передачи информации между диспетчерскими пунктами и взаимодействующими подразделениями. Все это позволит обеспечить АС УВД более полной и качественной информацией. В сочетании с усовершенствованными методами обработки и отображения информации это даст возможность сократить объем необходимых записей, осуществляемых вручную, и уменьшить объем речевой телефонной связи.

Этапы развития пунктов АС УВД включают в себя: автоматическое сопровождение летательных аппаратов; буквенно-цифровое отображение информации; автоматизацию работы радиолокационного комплекса; прием и хранение планов полетов; печать и передачу планов полетов; расчет и обновление полетных данных; передачу полетных данных между диспетчерскими пунктами; прогноз и разрешение конфликтных ситуаций.

Одним из элементов системы УВД, который не соответствует постоянно растущим требованиям, является аппаратура сбора информации о воздушной обстановке, к которой относятся радиолокационные станции, КВ и УКВ радиосвязь. Основным недостатком этих средств сбора и передачи информации является возможность их устойчивой работы в пределах практически только прямой видимости. Для контроля полетов над океанами, труднодоступными и малоосвоенными районами, а также для реализации внетрассовых полетов нужны глобальные системы УВД, обладающие возможностью «видеть и слышать» летательный аппарат в любой заданной точке воздушного пространства. Такой системой является спутниковая АС УВД, использующая в качестве ретрансляторов искусственные спутники Земли (ИЗС).

**Контрольные вопросы**

1. Назовите основные направления совершенствования АС УВД.
2. Расскажите о путях развития технических средств обзора воздушного пространства.
3. Каковы преимущества автоматизированной передачи информации в цифровом виде перед речевыми сообщениями?
4. Назовите основной недостаток радиолокационных средств обзора воздушного пространства.

## 21.2. Спутниковые системы УВД

Одним из недостатков существующих систем УВД является ограничение, которое накладывает на размер и конфигурацию контролируемого воздушного пространства размещение радиотехнических средств (и в первую очередь обзорных РЛС) УВД. Это ограничение не позволяет оперативно создавать воздушные трассы при возникновении новых потребностей в авиаперевозках и в ряде случаев препятствует реализации принципа потенциальной бесконфликтности и экономичности при планировании маршрутов полетов. Недостатками существующих воздушных трасс являются: сравнительно короткие участки и частые изломы трасс; высокая степень совпадения участков различных трасс; относительно малая плотность трасс. Увеличение потребностей в воздушных перевозках в районах Крайнего Севера, горных и других труднодоступных районах, над большими водными бассейнами вызывает необходимость создания системы УВД, обеспечивающей возможность управления воздушным движением в любом районе выполнения полетов.

Глобальной системой УВД, разрабатываемой в настоящее время в нашей стране и за рубежом, является спутниковая автоматизированная система управления воздушным движением (САС УВД). Отсутствие зависимости САС УВД от расположения наземных РТС позволит осуществлять надежное сопровождение летательных аппаратов, находящихся на управлении, в любой точке контролируемого пространства, обеспечить устойчивую радиосвязь, повысить качество метеорологического вещания, проведение поисково-спасательных работ и т. д. Точность измерения параметров движения летательных аппаратов при этом выше, чем при использовании радиолокатора.

В настоящее время для связи широко применяются спутниковые системы. Они также могут использоваться для навигации. За последние годы проведен ряд исследований по изучению целесообразности запуска искусственных спутников Земли (ИСЗ) для определения местоположения различных объектов и передачи сигналов времени. Исследования дали положительный результат. В частности, совместный эксперимент, проведенный FAA США, Европейской организацией космических исследований ESRO и Канадой, позволил сделать вывод о способности спутниковой системы обеспечить диспетчера УВД всей необходимой информацией о воздушной обстановке. При проведении эксперимента в состав наземного оборудования входили: центр космической связи, предназначенный для телеметрического управления каналами связи и сбора данных наблюдений за ИСЗ; центр управления воздушным движением; оконечный пункт обслуживания космических связей. Спутниковое оборудование состояло из приемо-передатчиков, предназначенных для приема и ретрансляции телефонных, цифровых и дальномерных сигналов; телеметрической аппаратуры и аппаратуры управления спутником по командам с Земли.

В настоящее время эксплуатируется только одна спутниковая навигационная система США Transit. Принято решение о создании новой навигационной системы для определения местоположения в глобальном масштабе GPS (Global Positioning System). В 1974 г. Западно-Европейским космическим агентством, Канадой и США (COMSAT и FAA) было принято соглашение о развертывании экспериментальной системы AEROSAT, предназначенной для УВД в северной части Атлантического океана. Необходимость в такой системе определяется современной организацией полетов на воздушных трассах, связывающих Европу с Америкой, и трудностями в обеспечении связи с летательными аппаратами.

Для обзора воздушного пространства в настоящее время используются первичные и вторичные РЛС, установленные на территории США и стран Западной Европы. Вследствие ограниченной дальности действия эти средства не могут обеспечить УВД над океаном. Навигация летательных аппаратов осуществляется с помощью инерциальных, доплеровских и других навигационных средств. При этом в центры УВД по КВ радиотелефонным каналам передается информация о местоположении. Вследствие нена-

дежности радиосвязи на этих частотах и большой вероятности грубых навигационных ошибок расстояние между воздушными трассами, связывающими Северную Америку с Западной Европой, равно 220 км. Эшелонирование по времени составляет 15 мин. Это приводит к ограничению пропускной способности воздушного пространства над океаном и вынуждает использовать неэкономичные эшелоны и маршруты полета.

САС УВД AEROSAT состоит из ИСЗ, наземных устройств и бортовой аппаратуры летательных аппаратов (рис. 21.1).

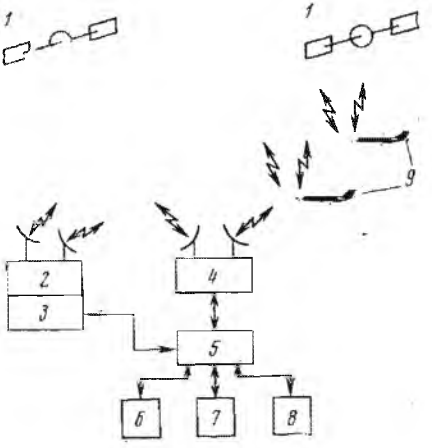



Рис. 21.1. Структурная схема САС УВД AEROSAT:

*1*—ИСЗ; *2*—оконечная аппаратура управления ИСЗ; *3*—центр управления; *4*—станция ASET; *5*—центр ASCC; *6*—аппаратура для проведения экспериментов; *7*—центры УВД; *8*—службы авиакомпаний; *9*—летательные аппараты

Космическая часть САС УВД AEROSAT состоит из двух нестационарных ИСЗ и наземной аппаратуры управления спутниками SCF. Установленная в Европе станция SCF будет управлять ИСЗ, включая изменения их местоположения, переключение каналов связи и т. д. Наземная часть системы должна обеспечить ESA, Канаде и США доступ к ИСЗ через наземные устройства ASET и через центры спутниковой связи ASCC. Первая станция ASET, имеющая доступ к обоим ИСЗ, устанавливается в Западной Европе, вторая — в Северной Америке. Последняя на первом этапе эксплуатации системы будет разделена на две части со своими антенными устройствами (одна — в США, другая — в Канаде), в перспективе обе части будут объединены. До объединения они смогут обмениваться информацией с помощью телефонной линии связи. В Африке устанавливается mini-ASET для связи с ИСЗ в диапазонах УВЧ и ОВЧ.

Станции ASCC обеспечивают стыковку между центрами УВД над океаном и станциями ASET. Через них осуществляется связь между диспетчерами и авиакомпаниями. Обзор воздушного пространства происходит следующим образом: летательному аппарату с земли через один из ИСЗ посылается адресный кодированный запрос; от приемо-ответчика летательного аппарата через оба ИСЗ на землю поступают ответные сигналы, включающие информацию его о высоте. По этим данным ЭВМ рассчитывает текущие координаты летательного аппарата (рис. 21.2). В качестве эксперимента будет проверена возможность и необходимость автоматической передачи на землю информации о местоположении летательного аппарата от бортового навигационного комплекса. Пред-

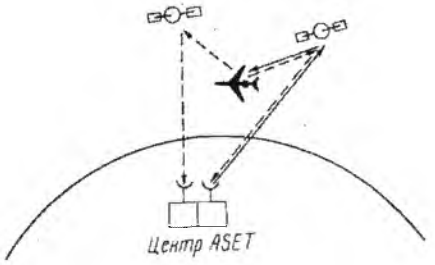



Рис. 21.2. Определение местоположения летательного аппарата САС УВД AEROSAT

полагается, что с помощью САС УВД AEROSAT текущие координаты летательных аппаратов будут определяться с погрешностью 1,85 км. Время определения местоположения одного летательного аппарата займет около 0,5 с. За 1 мин можно будет определить координаты 120 летательных аппаратов.

В результате экспериментальной эксплуатации системы необходимо уточнить следующие данные: границы перекрываемых системой районов надежной радиосвязи над океаном; необходимые эксплуатационные характеристики аппаратуры и линий передачи данных; необходимое число центров управления для осуществления УВД над океаном; возможность использования САС УВД AEROSAT для поисково-спасательных работ; требуемый коэффициент усиления самолетных антенн; требования к уровню мощности радиопередатчиков; полосы частот; точность определения текущего местоположения летательного аппарата; загрузка каналов системы; возможность использования системы AEROSAT в качестве составной части САС УВД над континентальной частью США.

В качестве линии связи земля—летательный аппарат на каждом ИСЗ используется пять каналов УВЧ и два канала ОВЧ. В обратном направлении могут использоваться 12 каналов УВЧ (из них девять для речевой или цифровой информации и три для координатной информации) и четыре канала ОВЧ. Связь между наземными станциями через ИСЗ может осуществляться по двум каналам СВЧ.

Использование системы AEROSAT позволит: обеспечить непосредственную связь между диспетчером и экипажем летательного аппарата; увеличить пропускную способность воздушного пространства над Атлантическим океаном; создавать более рациональные и гибкие планы; упростить УВД при пересечении воздушных трасс; выбирать оптимальные маршруты и высоты; осуществлять высококачественную связь с удаленными наземными пунктами; выполнять координированные и быстрые поисково-спасательные операции; улучшить передачу данных о погоде и т. п.

Экономический выигрыш внедрения САС УВД AEROSAT заключается в снижении расхода топлива, полетного времени и ликвидации крупных затрат на создание новых центров УВД на побережье океана.

Для осуществления УВД над континентом был предложен ряд проектов САС УВД.

Система AATMS1, предложенная специалистами фирмы «Boeing», предназначена для УВД на воздушных трассах как над кон-

тинентальной территорией США, так и над океаническими районами. Связь в аэроузловых зонах должна осуществляться по прямым каналам земля—летательный аппарат—земля с использованием имеющейся аппаратуры. Сбор информации о воздушном движении должен осуществляться путем ретрансляции через ИСЗ данных о принадлежности каждого летательного аппарата, его местоположении и высоте. Аппаратура каждого летательного аппарата ежесекундно получает сигналы, которые ретранслируются четырьмя ИСЗ на соответствующий центр УВД, где по разности времени прихода сигналов определяются его координаты.

Такая система сбора данных при использовании четырех каналов с полосой пропускания по 4 МГц может обслуживать одновременно до 60 тыс. летательных аппаратов. Обработка данных выполняется сетью ЭВМ, связанных между собой наземными каналами передачи информации. Предложено создать четыре центра УВД: два для управления воздушным движением на трассах над континентальной частью США, один в воздушном пространстве Тихого, другой Атлантического океанов. Для УВД в аэроузловых зонах планируется использовать 150 наземных центров.

Система AATMS1 предполагает использование трех независимых подсистем: УВД, навигации и связи. Связь и сбор данных о воздушном движении осуществляется тремя группами по шесть ИСЗ: над Атлантическим и Тихим океанами и над континентальной частью США. Над континентом должен также использоваться дополнительный связной ИСЗ. Навигация должна осуществляться с помощью инерциальных систем и радионавигационной системы Омега.

Система AATMS2, предложенная фирмой «Rockwell Jnternational» предполагает использовать ИСЗ для УВД, навигации и связи. Определение местоположения летательных аппаратов осуществляется аналогично системе AATMS1.

Обработку информации о воздушном движении на маршрутах предполагается сосредоточить в одном или двух центрах УВД. В этой системе предложено использовать восемь ИСЗ, на борту которых находятся навигационные передатчики и приемо-передатчики системы УВД.

Одним из наиболее перспективных проектов САС УВД является система ASTRO-DABS, предложенная корпорацией MITRE и предназначенная для УВД и навигации летательных аппаратов над континентальной частью США. Главной особенностью и большим достоинством САС УВД ASTRO-DABS является использование подсистемы сбора данных с помощью сети вторичных РЛС с дискретной адресацией DABS, являющейся основой наземной АС УВД США усовершенствованного третьего поколения. Поэтому САС УВД ASTRO-DABS удовлетворяет одному из основных принципов проектирования новых систем УВД — принципу постепенности перехода от одной системы к другой, так как переход к САС УВД ASTRO-DABS не связан с коренным изменением процессов УВД и полной заменой развернутого и эксплуатируемого оборудо-

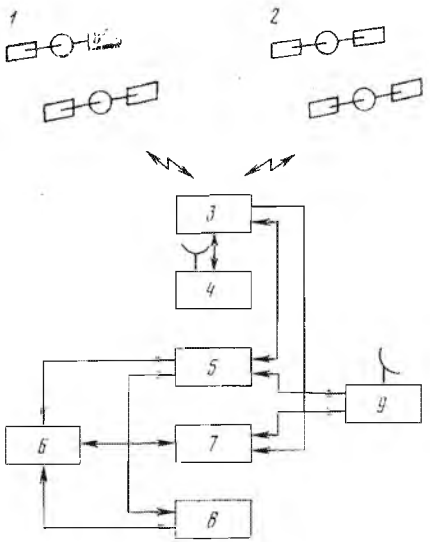



Рис. 21.3. Структурная схема системы ASTRO-DABS:

*1*—четыре приемопередающих ИСЗ; *2*—девять ИСЗ; обеспечивающих сбор информации в целях УВД и навигации; *3*—центры УВД и ВН; *4*—калибровочные станции; *5*—центры УВД; *6*—средства радиотелефонной связи; *7*—средства УВД загруженных аэроузлов; *8*—средства УВД прочих аэропортов; *9*—станции DABS

вания. Данная система имеет следующие достоинства: не требует дорогой дополнительной аппаратуры на борту летательных аппаратов; имеет каналы для передачи информации с высокой пропускной способностью; быстро восстанавливает работоспособность после отказа; обладает высокой точностью определения местоположения летательных аппаратов; обеспечивает внетрассовую навигацию; включает в себя подсистему — совместную по формату сигнала сеть наземных станций DABS; имеет высокую пропускную способность системы.

Система ASTRO-DABS обеспечивает одновременный сбор информации о 70 тыс. летательных аппаратов, находящихся в воздухе. При увеличении средней мощности спутниковых ретрансляторов количество летательных аппаратов может быть увеличено до 140 тыс. Захват новых летательных аппаратов и включение их в режим сопровождения производится за 4—6 с. Период обновления координатной информации в режиме сопровождения составляет 6 с. Погрешность определения местоположения летательных аппаратов в любой точке воздушного пространства над континентальной частью США составляет 22,5—45 м.

При совместной работе систем ASTRO-DABS и DABS не потребуется никакой модификации запросчиков системы DABS и системы вторичной радиолокации ATCRBS. Каналы передачи данных также должны быть совместимыми. Бортовая аппаратура потребует незначительной доработки. Вариант системы ASTRO-NAV сможет обеспечить навигацию летательных аппаратов с определением трех координат через каждые 2 с с погрешностью 30—60 м.

Обработка сообщений, поступающих на ИСЗ и от них, осуществляется двумя центрами управления SCC (рис. 21.3). С центром управления совмещен центр планирования CFCF, в котором регистрируются и обрабатываются заявки на полет и осуществляется планирование воздушного движения на 12 ч. В центре SCC определяются координаты летательных аппаратов, производится переключение режимов работы системы и задается очередность их опроса.

Переход к системе ASTRO-DABS может осуществляться по этапам:

1. Используется существующая система вторичной радиолокации с общим запросом ATCRBS.

2. Вводится в эксплуатацию сеть вторичных РЛС с дискретной адресацией DABS, совместимых с системой ATCRBS.

3. Начинается совместная работа систем ATCRBS и DABS с ИСЗ системы ASTRO-DABS.

4. Осуществляется совместная работа систем DABS и ASTRO-DABS.

Необходимость выполнения при создании новых систем УВД принципа постепенности (преемственности) выдвигает серьезные требования к разработчикам систем УВД: новые системы (их идеология, техническое исполнение и т. д.) должны обязательно учитывать перспективные требования гражданской авиации к системам подобного типа.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные достоинства САС УВД.
2. Какие преимущества дает использование САС УВД над Северной Атлантикой?
3. Опишите САС УВД AEROSAT.
4. Чем отличаются проекты систем AATMS1 и AATMS2?
5. В чем состоит основное достоинство системы ASTRO-DABS?

1. Кухтенко А. И. О теории сложных систем с иерархической структурой управления. В кн.: Сложные системы управления. Киев, Наукова думка, 1966, с. 3—15.

2. Тюрин О. А., Савельев О. П. Применение метода статистических испытаний для моделирования воздушной обстановки и процесса УВД. М., Наука, 1971, с. 315—322. (Труды 1-го Всесоюзного симпозиума по статистическим проблемам в технической кибернетике).

3. Ту Ю. Современная теория управления. М., Машиностроение, 1971. 472 с.

4. Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний. 2-е изд. М., Физматгиз, 1969. 488 с.

5. Лурье А. И. Некоторые нелинейные задачи теории автоматического регулирования. М., Гостехиздат, 1951. 174 с.

6. Летов А. М. К задаче об автопилоте. — Вестник МГУ, 1946, № 1, 7—15 с.

7. Летов А. М. Устойчивость нелинейных регулируемых систем. 2-е изд. М., Физматгиз, 1962. 484 с.

8. Беллман Р. Динамическое программирование, М., Изд-во иностр. литер., 1960. 400 с.

9. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояния в теории управления (для инженеров), М., Наука, 1970. 620 с.

10. Андреев Ю. Н. Управление конечномерными линейными объектами. М., Наука, 1976. 424 с.

11. Харников А. А., Пильчман И. И. Вопросы автоматизации УВД самолетов ГА. М., РИО МГА, 1969. 127 с.

12. Пильчман И. И. Автоматизация УВД (внедрение и перспективы развития) — Воздушный транспорт 14. М., АН СССР, 1975, с. 110—154 (ВИНИТИ, Итоги науки и техники).

13. Таран В. А., Брудеиик С. С., Кофанов Ю. И. Математические вопросы автоматизации производственных процессов. М., Высшая школа, 1968. 216 с.

14. Бусленко А. П. Моделирование сложных систем, М., Наука, 1978. 339 с.

15. Захаров В. Н., Поспелов Д. А., Хазацкий В. Е. Системы управления., М., Энергия, 1977. 423 с.

16. Крыжановский Г. А. Теоретические основы УВД. Л., ОЛАГА, 1976. 86 с.

17. Снапелев Ю. М., Староселъский В. А. Моделирование и управление в сложных системах. М., Советское радио, 1974. 176 с.

18. Поспелов Д. А. Большие системы (ситуационное управление). М., Знание, 1975, № 1, 63 с.

19. Суходольский Г. В. Структурно-алгоритмический анализ и синтез деятельности. Л., изд-во ЛГУ, 1976. 120 с.

20. Новиков П. П. Исследование и моделирование принятия решений в человеко-машинных системах. — Тезисы докл. Принятие решений. Управление воздушным движением. 1—3 марта. М., МГУ, 1977, с. 133—137.

21. Денисов В. Г., Терошкин А. А., Христич В. И. К вопросу количественного определения уровня автоматизации эргатических систем. В кн.: Эргатические системы управления. Киев, Наукова думка, 1974, Вып. 1. с. 76—82.

22. Методы инженерно-психологических исследований в авиации./Ю. П. Доброленский, Н. Д. Завалова, В. А. Пономаренко, В. А. Туваев./М., Машиностроение, 1975. 280 с.

23. Крыжановский Г. А., Солодухин В. А. Проблема автоматизации УВД и обратная задача оптимизации — Тр. Академии ГА, 1974. Вып. 59, с. 3—9.

24. Адрианова В. Е. Деятельность человека в системах управления. Л., изд-во ЛГУ, 1974. 136 с.

25. Казимирчак В. В. Алгоритм моделирования деятельности авиадиспетчера по оперативному планированию. — В кн.: Имитаторы и тренажеры. Вып. 1. Ч. 1. Киев, 1973, с. 150—156.

26. Крыжановский Г. А., Кизько В. Г. Об одном алгоритме имитации изменений воздушной обстановки. — В кн.: Авиационные автоматизированные комплексы управления и моделирования. Киев, 1977. Вып. 1, с. 28—33.

27. Гурьянов В. А., Крыжановский Г. А. Игры и решения в проблеме исследования конкретных ситуаций. — Тр. Академии ГА, 1974, Вып. 59. с. 96—100.

28. Крыжановский Г. А., Солодухин В. А. Методы оптимизации процессов УВД. М., Транспорт, 1978. 152 с.

29. Крыжановский Г. А., Солодухин В. А. Об одном направлении моделирования процесса управления и принятия решений в системе УВД. — В кн.: Управление воздушным движением, Вып. 1. М., Транспорт, с. 110—116.

30. Беллман Р. Может ли машина мыслить? — Проблемы современной кибернетики. Серия «Матем., Кибернет.» М., Знание, 1975, № 12, с. 26—40.

31. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М., Наука, 1968. 400 с.

32. Головкин Б. А. Машинное распознавание и линейное программирование. М., Советское радио, 1973. 100 с.

33. Крыжановский Г. А., Киров Б. А. Вопросы автоматизации УВД на трассах. — Тр. Академии ГА. 1976, Вып. 63, с. 24—29.

34. Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики. М., Энергия, 1972. 376 с.

35. Кемени Дж., Снелл Дж., Томпсон Дж. Введение в конечную математику. М., Изд.-во иностр. лит., 1963. 488 с.

36. Кравцов В. Ф., Крыжановский Г. А. Временная избыточность измерений при идентификации процессов и задача параметрической оптимизации. — Изв. вузов. Приборостроение, 1979, № 1, с. 27—31.

37. Крыжановский Г. А. Теоретические основы УВД. Ч. II. Л., Академия ГА, 1977. 89 с.

38. Белогородский С. А. Автоматизация управления посадкой самолета. М., Транспорт, 1972. 352 с.

39. Василинин В. Н. Автоматизированное вождение тяжелых самолетов. М., Воениздат, 1973. 199 с.

40. Крыжановский Г. А., Солодухин В. А. Управление воздушным движением — Итоги науки и техники. Серия «Воздушный транспорт». Т. 6. ВИНИТИ АН СССР. 1978, с. 98—138.

41. Цвиркун А. Д. Структура сложных систем. Советское радио, М., 1975. 200 с.

42. Лэсдон Л. С. Оптимизация больших систем. М., Наука, 1975. 432 с.

43. Боровиков А. А., Горбатов В. А. Критерий соцветности вершины графа. Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1972, № 4, с. 24—28.

44. Рыжков А. П. Разбиение графа на минимальное число полных подграфов. — Кибернетика, 1975, № 6, с. 90—95.

45. Гринберг З. Я., Илзиня Н. Г. О раскраске вершин неориентированных графов. — Автоматика и вычислительная техника, № 7, 1964, 35—41 с.

46. Берж К. Теория графа и ее применение. М., Изд. иностр. лит., 1962. 327 с.

47. Визинг В. Г., Плесневич Г. С. К проблеме минимальной раскраски вершин графа. — Сибир. матем. журнал, 1965, № 1, с. 37—42.

48. Барановский Е. П. Упаковки, покрытия, разбиения и некоторые другие расположения в пространствах постоянной кривизны. — Итоги науки. Серия «Математика», ВИНИТИ АН СССР. М., 1969. Вып. 16, с. 189—225.

49. Фодтерс К. А. Укладки и покрытия. М., Мир, 1968, 217 с.
50. Крыжановский Д. А. Изопериметры. М., Физматгиз, 1959. 183 с.
51. Применение автоматизированных систем для управления воздушным движением/В. В. Грачев, В. М. Кейн, А. И. Красов, Г. А. Крыжановский, С. М. Федоров. М., Транспорт, 1979. 400 с.
52. Розенберг В. Я., Прохоров А. Н. Что такое теория массового обслуживания? М., Советское радио, 1965. 256 с.
53. Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций. М., Наука, 1966. 384 с.
54. Климов Г. П. Стохастические системы обслуживания. М., Наука, 1966. 243 с.
55. Саати Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и ее применение. М., Наука, 1971. 395 с.
56. Круг Т. К., Сосулин Ю. Д., Фатуев В. Н. Планирование экспериментов в задачах идентификации и экстраполяции, М., Наука, 1977. 208 с.
57. Сейдж Э. П., Мелса Дж. Л. Идентификация систем управления. М., Наука, 1974. 248 с.
58. Гильбо Э. П., Челпанов И. Б. Обработка сигналов на основе упорядоченного выбора. М., Советское радио, 1976. 344 с.
59. Алгоритмизация в автоматизированных системах управления./Б. Б. Тимофеев, Г. А. Козлик, А. Ф. Кулаков, А. М. Мартьянов. Киев, Техника, 1972. 240 с.
60. Марков А. А. Теория алгоритмов. — Тр. математического института им. В. А. Стеклова, М., АН СССР, 1954. Т. 42. 374 с.
61. Лазарев В. Г., Пийль Е. И. Синтез управляемых автоматов. Энергия, 1978. 408 с.
62. Калужин Л. А. О некоторых общих вопросах кибернетики. — В кн.: Проблемы кибернетики. М., Физматгиз, 1958, Вып. 2. с. 51—67.
63. Фатеев А. Е., Ройтман А. И., Фатеева Т. П. Прикладные программы в системе математического обеспечения ЕС ЭВМ. М., Статистика, 1976. 184 с.
64. Змитрович И. А., Лепешинский Н. А. Автоматизированные системы управления. Минск, изд-во БГУ, 1977. 240 с.
65. Исьянов В. М. О логических системах алгоритмов второго рода. — В кн.: Синтез дискретных автоматов и управляющих устройств. М., Наука, 1968, с. 26—32.
66. Виленкин С. Я., Трахтенгерц Э. А. Математическое обеспечение управляющих вычислительных машин., М., Энергия, 1972. 392 с.
67. Липаев В. В., Колин К. К., Серебровский Л. А. Математическое обеспечение управляющих ЦВМ. М., Советское радио, 1972, 528 с.
68. Сытник В. Ф. АСУП и оптимальное планирование. Киев, Вища школа, 1977. 312 с.
69. Дал У. И. Языки для моделирования систем с дискретными событиями. — В кн.: Языки программирования/Под ред. Ф. Женюи, М., Мир., 1972, с. 344—403.
70. Цикритзис Д., Бернстайн Ф. Операционные системы. М., Мир, 1977. 336 с.
71. Моделирование задач исследования операций/Под ред. И. М. Витенберга. М., Энергия, 1978. 217 с.
72. Мова В. В., Пономаренко Л. А., Калиновский А. М. Организация приоритетного обслуживания в АСУ. Киев, Техника, 1977. 160 с.
73. Харкевич А. А. Избранные труды. М., Наука, 1973, Т. 3. 389 с.
74. Петров В. В., Усков А. С. Пропускная способность информационных систем с обратными связями и внутренними помехами. — В кн.: Докл. АН СССР. 1970. Т. 194. № 5, 676—682 с.
75. Садовский В. Н. Основания общей теории систем. М., Наука, 1974. 368 с.
76. Стратонович Р. Л. Теория информации. М., Наука, 1975. 287 с.
77. Шеннон К. Связь при наличии шума. — В кн.: Теория информации и ее применение/Под ред. А. А. Харкевича. М., ГИФМЛ, 1959, с. 82—112.

78. Питерсон В. В. Теория обнаружения сигналов. М., ГИФМЛ, 1961, с. 210—274.
79. Кульбак С. Теория информации и статистика. М., Наука, 1967. 408 с.
80. Ефимов А. Н., Постовский В. Н. О старении измерительной информации. — Изв. АН СССР. «Техническая кибернетика», 1969, № 4, 156—162 с.
81. Ефимов А. Н. Об эффективности передачи стареющей информации. — Автоматика и вычислительная техника, 1971, № 2, 23—31 с.
82. Начала информационной теории управления/В. В. Петров, Б. Н. Петров, Г. М. Уланов, В. М. Агеев. IV Международный конгресс ИФАК. Варшава, 1969, 13—24 с.
83. Петров В. В., Усков А. С. Информационные вопросы синтеза оптимальных систем. — В кн.: Информационные методы в системах управления и измерения и контроля. Владивосток, 1968, 17—29 с.
84. Начала информационной теории управления/Б. Н. Петров, В. В. Петров, Г. М. Уланов, В. М. Агеев и др. М., 1972, 5—128 с. (Итоги науки и техники ВИНИТИ АН СССР).
85. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М., Наука, 1967. 576 с.
86. Абдуллаев А. А., Алиев Р. А., Уланов Г. М. Принципы построения автоматизированных систем управления промышленными предприятиями с непрерывным характером производства. М., Энергия, 1975. 368 с.
87. Глушков В. М. Основные принципы построения автоматизированных систем управления. — Кибернетика и вычислительная техника, 1971, № 12, с. 5—19.
88. Галактионов А. И. Основы инженерно-психологического проектирования АСУ ТП. М., Энергия, 1978. 208 с.
89. Унифицированный ряд АС УВД, обеспечивающих совместную работу систем с разным уровнем автоматизации и переход от одного уровня к другому, ЧССР. Готвальдов, 1972. 146 с.
90. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М., Мир, 1973. 344 с.
91. Льюс Р. Д., Х. Райфа. Игры и решения. М., Изд-во иностр. литер. М., 1961. 486 с.
92. Айзексс Р. Дифференциальные игры. М., Мир, 1967. 480 с.
93. Красовский Н. Н. Игровые задачи о встрече движений. М., Наука, 1970. 385 с.
94. Оуэн Г. Теория игр. М., Мир, 1971. 232 с.
95. Беленький В. З., Волконский В. А. Итеративные методы в теории игр и программировании. М., Наука, 1974. 217 с.
96. Берж К. Общая теория игр нескольких лиц. М., Физматгиз, 1961. 126 с.
97. Системы УВД США. Радиоэлектроника в 1973 г. Обзор по материалам иностранной печати. 1974. 74 с. (НИИ экономики и информации по РЭ, № 1).
98. Крыжановский Г. А., Майоров С. А. О рациональном выборе варианта управляющей ЦВМ. — Изв. вузов СССР. Приборостроение, 1968, № 2. с. 65—69.
99. Гурин Л. С., Дымарский Я. С., Меркулов А. Д. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов. М., Советское радио, 1968. 464 с.
100. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., Наука, 1969. 576 с.
101. Растригин Л. А. Статистические методы поиска. М., Наука, 1968. 376 с.
102. Алгоритмы и программы случайного поиска/Под ред. Л. А. Растригина. Рига, Зинатне, 1969. 376 с.
103. Гасс С. Линейное программирование. М., Физматгиз, 1961. 303 с.
104. Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г. Линейное программирование. М., Физматгиз, 1963. 775 с.
105. Крыжановский Г. А., Солодухин В. А. Об одной задаче линейного программирования. — Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1972, № 4, с. 30—32.
106. Батищев Д. И., Бедная Р. И., Стронгин Р. Г. О выборе параметров алгоритмов поисковой оптимизации. — Автоматика и вычислительная техника., 1972, № 4, с. 17—21.

107. Уайлд Д. Дж. Методы поиска экстремума. М., Наука, 1967. 217 с.
108. Зангвилл У. И. Нелинейное программирование. М., Наука, 1973. 342 с.
109. Сухарев А. Г. Наилучшие стратегии последовательного поиска экстремума. — Вычислительная математика и математическая физика., 1972, с. 2. 563—581 с.
110. Красовский Н. Н. Теория управления движением. М., Наука, 1968. 476 с.
111. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. М., Наука, 1965. 460 с.
112. Табак Д., Куо Б. Оптимальное управление и математическое программирование. М., Наука, 1975. 280 с.
113. Анохин П. К. Проблема принятия решения в психологии и физиологии. — Вопросы психологии, 1974, № 4, с. 7—16.
114. Фетисов А. И., Халявин А. А., Назимов О. Н. В районе аэродрома. — Гражданская авиация, 1978, № 6, с. 22, 23.
115. Куприянов А. Влияние интенсивности движения в контролируемом воздушном пространстве. — ТИИЭР. М., 1970, т. 38, № 3, с. 100—109.
116. Лупандин М. В., Шутов В. Г. Анализ эффективности УВД в районном центре. — В кн.: Авиационные автоматизированные комплексы управления и моделирования. Киев, 1977, вып. 1, с. 194—197.
117. Разработка методов формирования потребностей гражданской авиации в наземных радиотехнических средствах. Отчет НИР, Крыжановский Г. А., ВНТИЦ № Б647765, Л., 1977, 78 с.
118. Финкельштейн Ю. Ю. Приближенные методы и прикладные задачи дискретного программирования. М., Наука, 1976. 356 с.
119. Кофман А. А., Анри-Лабордер А. Методы и модели исследования операций. Целочисленное программирование. М., Мир, 1977. 287 с.
120. Разработка методов формирования потребностей гражданской авиации в наземных радиотехнических средствах. Отчет о НИР, Крыжановский Г. А., ВНТИЦ № Б648963, Л., 1978, 63 с.
121. Крыжановский Г. А., Киров Б. А. Об одном принципе деления воздушного пространства. — Труды Академии ГА, 1976, вып. 63, с. 18—20.
122. Крыжановский Г. А., Кизько В. Г. О взаимосвязи некоторых эргономических и организационных структурных характеристик в системе УВД. — В кн.: Авиационная эргономика и летный труд. Киев, 1976, вып. 2. с. 68—74.
123. Крыжановский Г. А. Комплексный метод решения задач УВД.— В кн.: Автоматизированные системы УВД в гражданской авиации. Л., 1977, вып. 70. с. 7—12.
124. Жолтиков С. М., Комаров Г. А. Цифровые диспетчерские тренажеры УВД (обзор по материалам зарубежной печати). В кн.: Авиационные автоматизированные комплексы управления и моделирования, Киев, 1977, вып. 1, с. 3—17.
125. Анохин П. К. Теория функциональной системы как основа для понимания компенсаторных процессов организма. — В кн.: Ученые записки. М., АН СССР, 1947, Т. 2. Вып. 3. с. 7—16.
126. Умрюхин Е. А. Обучение в живых системах. — В кн.: Принципы системной организации функций. М., Наука, 1973, с. 261—269.
127. Лебедев В. Н. Профессия века. М., Наука, 1978. 192 с.
128. Дарымов Ю. П. Принципы и методы подготовки специалистов УВД. — В кн.: Автоматизированные системы УВД в гражданской авиации. Л., 1977. Вып. 70. с. 3—7.
129. Дарымов Ю. П., Крыжановский Г. А., Цепляев Ю. Ф. Вопросы повышения качества подготовки и переподготовки специалистов УВД. — В кн.: Автоматизированные системы УВД. Вып. 72. Л., 1978, с. 3—8.
130. Крыжановский Г. А., Цепляев Ю. Ф. Вопросы совершенствования системы эксплуатационной подготовки и переподготовки специалистов в высшей школе. — В кн.: Навигация и УВД. Л., 1979, с. 6—9.

131. Янг С. Системное управление организацией. М., Мир, 1972. 184 с.
132. Терстон Л. Л. Психофизический анализ. — В кн.: Проблемы и методы психофизики. М., Наука, 1974, с. 213—221.
133. Забродин Ю. М. Исследование проблемы обнаружения слабых сигналов человеком. Автореф. канд. диссер. Л., ЛГУ, 1971. 36 с.
134. Индлин Ю. А. Различение громкости тональных сигналов. — В кн.: Проблемы и методы психофизики. М., Наука, 1974, с. 117—123.
135. Крыжановский Г. А., Солодухин В. А. Оптимизирующий функционал в комбинированных управлениях динамическими объектами. — Прикладная математика и механика, Вып. 36, № 1, 1972, с. 24—32.
136. Крыжановский Г. А., Солодухин В. А. Параметрическая оптимизация и определение границ переключения оптимальных управлений. — Изв. вузов СССР. Приборостроение, 1972, № 7, с. 56—59.
137. Граве П. С., Растригин Л. А. Стратегическая и тактическая компоненты поведения. — В кн.: Адаптивные системы. Рига, 1974, вып. 4. с. 15—21.
138. Голицын Г. А. Динамическая теория поведения. — В кн.: Механизмы и принципы целенаправленного поведения. М., Наука, 1972, 117—136 с.
139. Анохин П. К. Внутреннее торможение как проблема физиологии. М., Медицина, 1958. 261 с.
140. Ухтомский А. А. Доминанта. М. — Л., Наука, 1966. 93 с.
141. Гельдфанд И. М., Гурфункель В. С., Цетлин М. Л. Оптимизация управления сложными системами. — В кн.: Биологические аспекты кибернетики. М., Советское радио, 1962, с. 114—122.
142. Барбашин Е. А. Функции Ляпунова. М., Наука, 1970. 240 с.
143. Ричмонд У. К. Учителя и машины. М., Мир. 1968. 123 с.
144. Техническая эксплуатация летательных аппаратов./Под ред. А. И. Пугачева. М., Транспорт, 1977. 362 с.
145. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР (НПП ГА — 78). М., РИО ГА, 1978. 285 с.
146. Руководство по кодированию информации об авиационных происшествиях и предпосылок к ним. МГА СССР. М., РИО ГА, 1977. 36 с.
147. Форд П. Р., Фалкерсон Д. Р. Потоки в сетях. М., Мир, 1966. 276 с.
148. Гольдштейн Е. Г., Юдин Д. Б. Задачи линейного программирования транспортного типа. М., Наука, 1969. 451 с.
149. Френк Г., Фриш И. Сети, связи и потоки. М., Связь, 1978. 448 с.
150. Зуховицкий С. И., Авдеева Л. И. Линейное и выпуклое программирование. М., Наука, 1967. 460 с.
151. Брызгалов В. М., Солодухин В. А. К задаче рациональной организации воздушного движения в зоне УВД. — Тр. Академии ГА. Л., 1977, вып. 70. с. 12—16.
152. Ососков Н. З., Сокол В. В., Усков В. П. О некоторых методах определения рабочей нагрузки диспетчера. — Авиационная эргономика, 1975, вып. 1, с. 133—140.
153. Миркин Б. Г. Проблема группового выбора. М., Наука, 1974, с. 256.
154. Черноусько Ф. Л. О весовых коэффициентах в экспертных оценках. — Кибернетика, 1972, № 6, с. 53—57.
155. Сулейманов Р. Н. Моделирование деятельности диспетчера как метод исследования системы УВД. — В кн.: Принятие решений УВД. М., МГУ, 1977, 136—142 с.
156. Новиков П. П., Сулейманов Р. Н. Сравнительный анализ нескольких видов индикаторов оценки потенциально-конфликтных ситуаций диспетчером УВД. — Инженерная психология в приборостроении. Л., ЛГУ, 1976, 188—196 с.
157. Костюк В. И., Ходаков В. Е. Системы отображения информации и инженерная психология. Киев, Вища школа, 1977, 192 с.
158. Самолетные навигационные системы. Под ред. Кайтона М. и Фрайда В. Пер. с англ. М., Воениздат, 1973. 363 с.

159. Венда В. Ф. Средства отображения информации, эргономические исследования и художественное конструирование. М., Энергия, 1969. 228 с.

160. Управление воздушным движением. Методические указания по работе диспетчера в аэродромной АС УВД/Под ред. Ю. П. Дарымова. Ч. I, П. Л., ОЛАГА, 1976. 63 с.

161. Рубахин В. Ф., Филиппов А. В. Психологические аспекты управления. М., Наука, 1974. 227 с.

162. Рубахин В. Ф. Психологические основы обработки первичной информации. Л., Наука, 1974. 262 с.

163. Чернявский А. Л. Количественные методы исследования организационных систем. — Автоматика и телемеханика, 1978, № 2, с. 113—135, 1978, № 3, с. 88—108.

164. Кокс Д. Смит У. Теория очередей. М., Мир, 1966. 218 с.

165. Росс У. Эшби. Схема усилителей мыслительных способностей. — В кн.: Автоматы. М., Изд-во иностр. лит., 1956, 373—385 с.

166. Росс У. Эшби. Введение в кибернетику. М., Изд-во иностр. лит., 1959. 432 с.

167. Романовский Ю. М., Степанова Н. В., Чернавский Д. С. Математическое моделирование в биофизике. М., Наука, 1975. 319 с.

168. Фомин С. В., Баркинблит М. Б. Математические проблемы в биологии. М., Наука, 1973. 297 с.

169. Разумихин Б. С. Итерационный метод решения и декомпозиция задач линейного программирования. — Автоматика и телемеханика, 1967, № 3, 676—682 с.

170. Первозванский А. А. О связи основных теорем математического программирования и принципа максимума. — Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1967, № 1, с. 8—13.

171. Ульм С. М. Метод условного градиента и декомпозиция задач оптимального управления. — Изв. АН СССР. Физика, Математика, 1969, т. 18. № 2, с. 245—248.

172. Тюхнин В. С. Теория математического опознавания и гносеология. М., Наука, 1978. 190 с.

173. Новосельцев В. Н. Теория управления и биосистемы. Анализ сохранительных свойств. М., Наука, 1978. 320 с.

174. Бойцов В. А., Крыжановский Г. А. Комплексная автоматизированная система УВД с ЛТИ. — В кн.: Автоматизированные системы управления в ГА. Киев, 1976, вып. 3, с. 13—20.

175. Алешин В. И., Бойцов В. А., Крыжановский Г. А. О возможности применения ЛТИ для целей УВД в РА. Доклад на семинаре «Радиоэлектрические методы и средства регистрации информации, используемые для УВД». Киев, ЛНиЭИ, 1976, № 10, 17—24 с.

176. Бережной И. А. Лазер ведет на посадку. — Гражданская авиация, 1978, № 9, с. 26—27.

177. Демидович Б. П., Марон И. А., Шувалова Э. З. Численные методы анализа. М., Физматгиз, 1962. 367 с.

178. Коллатц Л. Функциональный анализ и вычислительная математика. М., Мир, 1969. 448 с.

179. Ли Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление. М., Наука, 1966. 176 с.

180. Брайсон А., Хо-Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления, М., Мир, 1972. 544 с.

181. Дмитриев С. П., Далгинцева Г. Я., Игнатов А. А. Решение некоторых нестационарных задач оптимальной фильтрации. — Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1965, № 1, с. 169—181.

182. Красовский А. А. Субоптимальный алгоритм оценивания координат подвижного объекта. — Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1978, № 4, с. 161—168.

183. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., Наука, 1965. 340 с.

184. Кац И. Я., Куржанский А. Б. К задаче оптимальных наблюдений. — Прикладная математика и механика, 1973, т. 37, вып. 5, с. 426—438.

185. Никольский С. М. Квадратурные формулы. М., Физматгиз, 1958. 124 с.

186. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа. М., Физматгиз, 1961. 524 с.

187. Коробов Н. М. Теоретические методы в приближенном анализе. М., Физматгиз. 224 с.

188. Брегман Л. М., Прыгалев А. И., Суфин С. С. Повышение эффективности мультипликативного алгоритма метода последовательного улучшения плана. — В сб.: Исследование операций и статистическое моделирование. Л., ЛГУ, 1978, вып. 4, с. 3—49.

189. Завалова А. Д., Ломов Б. Ф., Пономаренко В. А. Принцип активного оператора и распределение функций между человеком и автоматом. — Вопросы психологии, 1971, № 3, с. 3—7.

190. Заренин Ю. Г., Сухов Б. П. Автоматическое управление воздушным движением. М., РИО МГА, 1960. 60 с.

191. Системы управления воздушным движением. Радиоэлектроника в 1971 г. — В кн.: Обзор по материалам иностранной печати. М., НИИЭИР, т. 3. 1972, с. 40—44.

192. Системы управления воздушным движением. Радиоэлектроника в 1972 г. — В кн.: Обзор по материалам иностранной печати. Т. 3. М., НИИЭИР, 1973, с. 35—38.

193. Подсистема сбора данных. Радиоэлектроника в 1975 г. — В кн.: Обзор по материалам иностранной печати. М., НИИЭИР, 1976, т. 2. с. 23—52.

194. Наставление по связи в гражданской авиации СССР. М., РИО МГА, 1974. 186 с.

195. Мельник П. К. Организация связи в гражданской авиации. М., Транспорт, 1977. 152 с.

196. Лихарев В. А. Цифровые методы и устройства в радиолокации. М., Советское радио, 1973, 272 с.

197. Кузьмин С. З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. М., Советское радио, 1974. 432 с.

198. Радиотехнические средства управления воздушным движением. — В кн.: Итоги науки и техники. Серия «Радиотехника». М., ВИНИТИ, 1976, т. 10, кн. 1., с. 5—103.

199. Основы теории вычислительных систем/Под ред. С. А. Майорова. М., Высшая школа, 1978. 408 с.

200. Поспелов Д. А. Введение в теорию вычислительных систем. М., Советское радио, 1972. 280 с.

201. Каган Б. М. Электронные вычислительные машины и системы. М., Энергия, 1979. 528 с.

202. Шастова Г. А., Коекин А. И. Выбор и оптимизация информационных систем. М., Энергия, 1972. 256 с.

203. Мартин Дж. Программирование для вычислительных систем реального времени. М., Наука, 1975. 360 с.

204. Блэкман М. Проектирование систем реального времени. М., Мир, 1977. 348 с.

205. Королев Л. Н. Структуры ЭВМ и их математическое обеспечение. М., Наука, 1974. 256 с.

206. Махарев Э. И. Управление данными и заданиями в вычислительных системах, используемых в гражданской авиации. Рига, РКИИГА, 1977. 102 с.

207. Современное состояние и тенденции развития радиолокационных и навигационных средств УВД (обзор). — Радиоэлектроника за рубежом, 1973, № 26, 74 с.

208. Veer J. R., Bona L. J., ATC System — Digital Simulation Facility Simulation. v. 16, N 1, 1971, pp 5—17.

209. Warna O. Simulation du Controle du Traffic Aerien on Temps Reet. Navigation (Fr.), v. 20, N 78, 1972, pp. 190—199.

210. Raar J. W. A Digital Simulation Facility for ATC Experimentation. USSR/US Aeronautical Technology Simposium. Moscow, 1973, p 10.

211. Danga J., Pietrala J., Poznanski Z. Wybrane zagadniena symulaeji systemu kierewahia ruchu lotniczym. Wynikivstepne «Pr. Inst. masz. mat», 1975, v. 17, N 2, pp 25—29.
212. Beer Stafford. Managing Modern Complexity. The Management of Information and knowledge. A compilation of Papers Prepared for the Eleventh Meeting. 1970, Com. of S. and Astr, USA, House of Repr.
213. Brown I, R. Geometric Sheduling and the Chromatic Number Problem. «Management Science»,w v. 19, N 4, 1972, pp 17—25.
214. Fejes Toth. Lagerengen in der Ebene, auf die Kugel und im Raum. Berlin — Heidelberg — New — York, 1972, p. 214
215. Lemke C., Salkin H. Set covering by single — branch enumeration with linear — programming subproblems. Oper. Research, 1978, v. 19, à 4, pp 212—217.
216. Siddigce W. A mathematical model for predicting the number of potentiol conflict situations of intersecting air routs. «Trans. Science» v. 7, N 2, 1973, pp 158—167.
217. Green D. M. Swets J. Signal Detection Theory and Psychophysics. New—York — London, 1966.
218. Jackson C. Quantification of Air Traffic Controllers Acceptable Workload. «The Controller», 1975, N 2, 18—29 pp.
219. Arad B. A. Notes on the Measurement of Control Loand and Factor Dcsing in the on Route Enviroment. «Service FAA», Washington, 1964, June, pp 192—216.
220. Bell Cr. Operational Research into Air Traffic Control. The Royal Aeronautical Society, 1959, October, p. 69.
221. Dunly W. J. Analitical Models of Perceived Air Traffic Control Conflicts. «Transportation Sience», v. 9, N 2, 1975, pp 165—183.
222. Dantzig G. B., Wolfe P. Decomposition Principe for Linear Programs. Operation Research, v. 8, N 1, 1960.
223. Randya R. N. A class of bootstrap estimators for linear system identification «Internat. J. Control», pp 144—156, 1972, N 6, 117—125.
224. Studden W. J. Optimal design of Tchebyheff points. «Ann. Math. Statist. », pp 408—434, 1968, № 3, pp 17—28.
225. De la Garra. A Quadratic Extrapolation and a related test of hy others. «J. Amer. Statist. Assoc.» 1556, pp. 62—68.
226. Lion M. L. Spline fit made eassy. «IEEE Trans.», 1976, v. c. 25, N 5, pp 72—79.
227. Lainiotic D. C. Parameter estimalion using splines. «Inform. Sci», 1974, N 2, pp 231—315.
228. Prenter P. M. Splines and variational methods. Academic Press, N 4, 1975, p. 120.
229. Wedan R. FAA development activities. «Prep. FAA 2100 Sesond, S. W., 1977, 11, Washington D. C. 20590, v. 1—7.

ОГЛАВЛЕНИЕ


От автора . . . . . 3
Введение . . . . . 5

РАЗДЕЛ I **Основы автоматизации процессов УВД** . . . . . 11

Глава 1. *Процессы УВД* . . . . . 11
1.1. Основные задачи системы УВД . . . . . 11
1.2. Структура системы УВД . . . . . 16
1.3. Основные периоды, этапы и процессы системы УВД . . . . . 26
1.4. Комплексный характер процессов в системе УВД . . . . . 37

Глава 2. *Моделирование процессов УВД* . . . . . 41
2.1. Состояние процессов УВД. Вектор и количественные характеристики состояния . . . . . 41
2.2. Метод математического моделирования, моделирующие комплексы и центры исследования процессов УВД . . . . . 47
2.3. Элементарные модели и характерные задачи процессов этапа непосредственного УВД . . . . . 52
2.4. Элементарные модели и характерные задачи процессов на этапах планирования воздушного движения и организации УВД . . . . 59
2.5. О некоторых методах построения математических моделей процессов УВД . . . . . 66

Глава 3. *Основы алгоритмизации процессов УВД* . . . . . 78
3.1. Элементы общей теории алгоритмов . . . . . 78
3.2. Краткая характеристика языков программирования . . . . . 86
3.3. Особенности алгоритмизации процессов УВД . . . . . 91

Глава 4. *Проблемы разработки алгоритмов оптимизации процессов УВД* 96
4.1. Роль методов оптимизации при разработке алгоритмов решения задач УВД . . . . . 96
4.2. Показатели эффективности процессов в системе УВД . . . . 103
4.3. Оценки и показатели эффективности функционирования элементов простейшего контура УВД . . . . . 118
4.4. Алгоритмические методы оптимизации, их выбор и некоторые особенности . . . . . 129

Глава 5. *Общие принципы автоматизации процессов УВД* . . . . . 133
5.1. Характеристика основных принципов автоматизации процессов УВД . . . . . 133
5.2. Этапы автоматизации процессов УВД . . . . . 138
5.3. Структурные особенности АС УВД . . . . . 141

РАЗДЕЛ II **Автоматизация процессов организации УВД и планирования полетов** . . . . . 147

Глава 6. *Процессы организации УВД и их автоматизация* . . . . . 147
6.1. Основные принципы организации УВД и направления автоматизации организационных процессов . . . . . 147
6.2. Автоматизация процессов анализа характеристик воздушного движения и их прогноз . . . . . 154
6.3. Процессы создания системы контроля движения летательных аппаратов и их автоматизация . . . . . 157
6.4. Автоматизация процессов деления воздушного пространства района, контролируемого системой УВД на зоны ответственности . . . 166

Глава 7. *Автоматизация процессов обеспечения безопасности полетов* 172
7.1. Показатели безопасности полетов и классификация факторов и методов ее обеспечения . . . . . 172

7.2. Автоматизированная система управления безопасностью полетов и ее структура . . . 179
7.3. Вопросы организации режима диалога в АСУ . . . 183
7.4. Автоматизация процессов и гарантийный подход к оценке уровня безопасности полетов . . . 187

Глава 8. *Процессы обучения диспетчера и некоторые вопросы их автоматизации* . . . 189

8.1. Задачи и принципы обучения и значение автоматизации процессов обучения . . . 189
8.2. Моделирование и оптимизация процессов обучения операционным навыкам . . . 197
8.3. Моделирование и оптимизация процесса обучения принятию решений . . . 206
8.4. Алгоритмизация процессов обучения специалистов УВД . . . 213

Глава 9. *Автоматизация процессов предварительного планирования воздушного движения* . . . 218

9.1. Общие принципы планирования воздушного движения . . . 218
9.2. Методы предварительного планирования воздушного движения 226
9.3. Автоматизация процессов рационального предварительного планирования . . . 233

РАЗДЕЛ III **Автоматизация процессов непосредственного УВД** . . . 240

Глава 10. *Характеристика деятельности диспетчера* . . . 240

10.1. Диспетчер как звено простейшего контура системы УВД . . . 240
10.2. Особенности деятельности диспетчера . . . 247
10.3. Факторы, влияющие на качество деятельности диспетчера . . 251

Глава 11. *Структурно-логический анализ деятельности диспетчера* . . 253

11.1. Уровни деятельности диспетчера . . . 253
11.2. Алгоритмическое описание . . . 255
11.3. Структурная модель . . . 258
11.4. Статистические методы моделирования . . . 266

Глава 12. *Автоматизация информационных процессов в простейшем контуре УВД* . . . 275

12.1. Оценка загруженности диспетчера и автоматизация информационных процессов . . . 275
12.2. Учет психологических особенностей деятельности и функционального состояния диспетчера . . . 281
12.3. Организация рабочего места диспетчера при автоматизации информационных процессов . . . 289
12.4. Эргономическое обеспечение терминалов технических средств АСУВД . . . 294

Глава 13. *Технологические процессы АСУВД* . . . 300

13.1. Общая технология работы диспетчера . . . 300
13.2. Пультовые операции в АСУВД и их автоматизация . . . 302
13.3. Операции непосредственного УВД при вылете летательного аппарата . . . 307
13.4. Операции непосредственного УВД при прилете летательного аппарата . . . 313

Глава 14. *Перспективы развития эргатических систем и совершенствования процессов УВД* . . . 316

14.1. Основные направления совершенствования процессов УВД . . 316
14.2. Анализ и идентификация процессов в эргатических элементах системы УВД . . . 322
14.3. Вопросы совершенствования деятельности диспетчера в процессе непосредственного УВД . . . 325

14.4. Требования к методам синтеза эргатических систем УВД . . 332

РАЗДЕЛ IV **Основы технической реализации АС УВД** . . . . . 337

Глава 15. *Общая структура АС УВД* . . . . . 337

15.1. Классификация АС УВД . . . . . 337
15.2. Пример структуры построения АС УВД . . . . . 339

Глава 16. *Характеристики источников информации в АС УВД* . . . . 342

16.1. Информационные потоки в системе УВД . . . . . 342
16.2. Первичные и вторичные РЛС . . . . . 345
16.3. Виды обработки радиолокационной информации . . . . . 348
16.4. Характеристика сети и каналов связи . . . . . 350

Глава 17. *Вычислительные системы в АС УВД* . . . . . 352

17.1. Классификация вычислительных систем, применяемых в АС УВД 352
17.2. Выбор варианта вычислительной системы в АС УВД . . . . 357

Глава 18. *Математическое обеспечение АС УВД* . . . . . 359

18.1. Общая характеристика математического обеспечения АС УВД 359
18.2. Принципы организации вычислительных процессов в АС УВД 361

Глава 19. *Аэродромные и аэроузловые АС УВД* . . . . . 366

19.1. Особенности воздушного движения в районе аэродрома и аэроузловой зоны . . . . . 366
19.2. Московский аэроузловой центр УВД . . . . . 367

Глава 20. *Трассовые АС УВД* . . . . . 369

20.1. Особенности деятельности диспетчеров в трассовых АС УВД 369
20.2. Трассовые АС УВД США . . . . . 372
20.3. Трассовые АС УВД Европы . . . . . 375

Глава 21. *Перспективы развития АС УВД* . . . . . 378

21.1. Основные тенденции развития АС УВД . . . . . 378
21.2. Спутниковые системы УВД . . . . . 381

Список литературы . . . . . 388

*Юрий Петрович Дарымов*
*Георгий Алексеевич Крыжановский*
*Виктор Александрович Солодухин*
*Владимир Георгиевич Кизько*
*Борис Александрович Киров*

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

Редактор *Э. М. Федорова*
Обложка художника *М. В. Колейчук*
Технический редуктор *Т. А. Захарова*
Корректоры *Т. И. Миляренко, С. М. Лобова*
ИБ № 1291

Сдано в набор 12.09.80 г. Подписано в печать 11.03.81 г. Т-05098
Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 2 Гарнитура литературная Высокая печать.
Усл. печ. л. 25 Усл. кр.-отт. 25,13 Уч.-изд. л. 29,25 Тираж 5000 экз. Заказ 1038 Цена 1 р. 10 к.
Изд. № 1—1—1/17 № 9820

Издательство «ТРАНСПОРТ», 107174, Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Хохловский пер., 7.