

В. П. Быков

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НОВОЙ ТЕХНИКИ

*Допущено
Государственным комитетом СССР
по народному образованию
в качестве учебного пособия
для студентов машиностроительных
специальностей вузов*



МОСКВА
«Высшая школа» 1990

ББК 34.4
Б 95
УДК 621

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А. И. Тархов
(Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина)

Быков В. П.

Б 95 **Методика проектирования объектов новой техники:**
Учеб. пособие.—М.: Высш. шк., 1990. — 168 с.: ил.
ISBN 5-06-001558-0

В пособии рассмотрены вопросы методического обеспечения создания объектов новой техники на различных стадиях проектирования, начиная с технического задания и кончая техническим проектом; в нем отражены современное состояние и перспективы развития автоматизированного проектирования. Теоретические положения иллюстрированы конкретной разработкой приспособления дорожной машины

Б 2702000000(4309000000)—414 205—90
001(01)—90

ББК 34.4
6П5

Учебное издание

Быков Владислав Павлович

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НОВОЙ ТЕХНИКИ

Заведующий редакцией *А. В. Дубровский*. Редактор *Н. М. Шелина*. Младший редактор *Т. Ф. Артюхина*. Художественный редактор *М. Г. Мицкевич*. Технический редактор *Л. А. Овчинникова*. Корректор *Р. К. Косинова*.

ИБ № 8582

Изд. № ОТ-711.	Сдано в набор 22.02.90	Подп. в печать 18.06.90
Формат 60×88 ^{1/8} .	Бум. офсет. № 2.	Гарнитура литературная. Печать офсетная
Объем 10,29 усл. печ. л.	10,54 усл. кр. отт.	10,58 уч. изд. л. Тираж 9000 экз.
	Зак. № 88.	Цена 35 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Московская типография № 4 Государственного комитета СССР по печати
129041, Москва, Б. Переяславская ул., 46.

ISBN 5-06-001558-0

© В. П. Быков, 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

Особое место в кардинальном ускорении научно-технического прогресса отводится советской молодежи, обладающей энергией и пытливым умом, интересом ко всему новому и передовому.

Однако все эти положительные качества не могут быть реализованы без хорошей профессиональной подготовки на основе последних достижений науки и техники, среди которых решающее значение имеет широкое применение вычислительной техники, систем автоматизированного проектирования (САПР).

Многие технические вузы перешли на специальную подготовку инженеров-конструкторов, обучая их по программе, отличной от программы подготовки инженеров, занимающихся вопросами использования техники.

Ф. Ханзен в своей книге «Основы общей методики конструирования» пишет о том, что в первой трети этого столетия конструированию обучали по методу, который можно считать классическим. Понскам решения и конструктивного оформления учились тогда на имевшихся примерах, а методику учащиеся перенимали от своих учителей. Во второй половине нынешнего столетия, как отмечает Ф. Ханзен, методика конструирования превращается в самостоятельную дисциплину. «Методика конструирования, — пишет он, — при обучении в высшей и специальных школах представляет ценность не только для собственно конструирования, но и для всех технических предметов, в которых важно развивать творческие способности студента, а также такие универсально ценные качества, как системность мышления, последовательность образа действия, самокритичность, умение связывать различные рабочие процессы при разработке, способность к абстрагированию и связыванию наглядного и абстрактного... Методика конструирования развивается, поскольку она самым плодотворным образом влияет на творческую часть проектной работы. Задача ближайшего будущего состоит в том, чтобы разработать средства методики конструирования и внедрить ее в систему обучения, рационализировать творческую инженерную работу, широко используя машинные вспомогательные

средства. Если не идти настойчиво по этому пути, то наука конструирования не будет удовлетворять требованиям технического прогресса».

Рождение науки о проектировании и конструировании неразрывно связано с началом исследований, положившим основу теории машин, механизмов и деталей машин. Поэтому с полным правом можем назвать ее родоначальниками в нашей стране акад. П. Л. Чебышева, чл.-кор. Петербургской АН Н. Е. Жуковского, профессоров Л. В. Ассур, В. Л. Кирпичева, члена Российской АН Л. Эйлера, в 30-е годы нашего столетия акад. В. П. Горячкина, проф. А. П. Сидорова. Методика конструирования обязана своим развитием академикам — И. И. Артоболовскому, А. А. Благонравову, А. Н. Крылову, чл.-кор. АН СССР В. В. Добровольскому. Своего современного уровня она достигла благодаря трудам академиков Н. А. Доллежала, К. В. Фролова, А. И. Целикова. Во всех областях техники можно назвать имена ученых и конструкторов, чья деятельность обогатила и обогащает методологию проектирования и конструирования. В авиации это академики С. В. Ильюшин, А. Н. Туполев, А. С. Яковлев, в космической технике — акад. С. П. Королев; в судостроении — акад. Ю. А. Шиманский, проф. Р. Е. Алексеев — создатель судов на подводных крыльях: В. И. Неганов — главный конструктор первого в мире атомного ледокола; в строительном машиностроении — профессора Н. Г. Домбровский, А. Н. Зеленин, Ю. А. Ветров, В. И. Баловнев, Д. П. Волков, Е. Ю. Малиновский, Д. И. Федоров и многие другие. Список можно продолжить, охвачены далеко не все отрасли машиностроения. Своими современными достижениями они обязаны талантливым конструкторам, таким, например, как З. Н. Пономарев — главный конструктор самого производительного в мире широкополосного стана «2000»; Б. В. Розанов — главный конструктор крупнейшего в мире пресса и др.

Новейшая методология проектирования и конструирования характеризуется проникновением в самый сокровенный процесс — синтез технических решений в актах творчества. Это стало необходимым в связи с развитием автоматизации проектирования. Широкую известность уже получили труды проф. А. И. Половинкина, а также таких исследователей изобретательской деятельности, как Г. С. Альтшуллер, Г. Я. Буш и многие другие.

Методика проектирования успешно развивается и в странах Восточной Европы. В нашей стране получили известность благодаря переводу на русский язык труды В. Гаспарского — Польская Республика; И. Мюллера, Ф. Ханзена — Германская Демократическая Республика.

В капиталистических странах методика проектирования исследуется весьма интенсивно. Наиболее полный перечень работ,

выполненных в последние годы в этом направлении, можно найти в аннотированном библиографическом указателе.

К авторам, чьи труды переведены на русский язык, относятся: Дж. К. Джонс, Дж. Диксон, А. Холл, П. Хилл.

Приведенный далеко не полный перечень можно было бы продолжить, если учесть, что методология проектирования на уровне общих концепций инвариантных процедур развивается не только в машиностроении, но и в других отраслях техники — электронике, строительстве.

В последние годы вышел в свет ряд книг отечественных и зарубежных авторов, посвященных методике проектирования [12, 23, 24, 26, 28, 37, 44, 48, 65, 66, 68], однако учебно-методических пособий для подготовки конструкторов крайне мало.

В предлагаемом пособии обобщены работы в области общей методики проектирования. Развивается концепция, близкая функционально-стоимостному анализу, его проблемно-целевому характеру. Однако в них есть и отличия. Скелет пособия составляют три основных компонента методологии проектирования: логическая схема процесса, задачи и методы их решения на стадиях разработки (от технического задания до технического проекта), математическая модель объекта проектирования.

Основной особенностью методики следует считать ее ориентацию на САПР. Однако процесс проектирования рассматривается как эргатический, разумно сочетающий формально-логические и неформализованные элементы в системах решающих процедур.

Под объектами новой техники понимаются машины, механизмы и оборудование, создаваемые впервые взамен ручного труда или взамен существующих, реализуя новый принцип действия, превосходящий старый по своим технико-экономическим показателям.

Проектирование объектов новой техники отличается от совершенствования существующей отсутствием прототипа, более широким поиском технических идей, закладываемых в основу будущего изделия, большей неопределенностью в постановке решаемых задач.

Совершенствование существующих машин имеет солидную методологическую основу в виде научного направления, называемого оптимальным проектированием. Кроме того, в каждой области техники разработаны частные методы выбора конструкции и параметров традиционных машин и оборудования. Так, в области строительной техники школой проф. В. И. Баловнева создана и развивается методика проектирования конструктивно-размерноподобных машин, позволяющая серьезно говорить не только об автоматизированном, но и автоматическом выполнении разработок. Подобным образом обстоит дело и в других областях техники, иначе — при создании объектов новой техники.

Методы оптимального проектирования применимы и здесь, но им предшествуют этапы неформального анализа порождающей среды (факторов окружения) и синтеза технических решений.

Пособие адресуется прежде всего студентам, будущим творцам новой техники. Автор надеется, что оно заинтересует участников студенческих конструкторских бюро (СКБ), существующих практически на всех специальных кафедрах технических вузов страны. СКБ объединяют наиболее заинтересованных и склонных к проектной работе студентов. СКБ под силу решать серьезные практические задачи, но, пожалуй, главное их назначение — развитие творческих способностей и повышения уровня профессиональной подготовки. В ЛИИЖТе на кафедре «Строительные и дорожные машины и оборудование» СКБ, руководимое автором, рассматривается еще и как форма дополнительной работы с хорошо и отлично успевающими студентами, так как в учебном процессе им уделяется зачастую меньше внимания, чем отстающим. СКБ может принять участие и в реализации своих разработок во время производственной практики.

Как читатели, студенты отличаются от инженерно-технических работников. Они впервые встречаются с решениями инженерных задач, многие из них еще не определили направление своей профессиональной деятельности — эксплуатация техники, проектирование или научные исследования.

К началу изучения методики проектирования в специальных дисциплинах студенты обладают достаточно глубокой общетеоретической подготовкой, дающей возможность освоить и вычислительные методы. Если же некоторые из них не сразу окажутся понятными, автор просит не бросать книгу, а продолжить ее чтение. Основа методики будет понятна и без этого. Повторное чтение позволит разобраться и в деталях.

Несколько слов о примерах. В методологии проектирования они обладают рядом особенностей. Во-первых, всегда относятся к конкретной области техники, а во-вторых, могут быть обозримы лишь применительно к относительно несложным объектам. В пособии для примеров использована проектная разработка СКБ кафедры «Строительные и дорожные машины и оборудование» ЛИИЖТа. Тем не менее методика не зависит от объекта проектирования (инвариантна) и может быть использована в различных областях техники.

Автор выражает искреннюю благодарность проф. А. И. Тархову (Ленинградский политехнический институт) за замечания и советы, высказанные при рецензировании издания.

С благодарностью будут приняты все критические замечания и предложения, направленные на улучшение пособия. Письма просьба направлять по адресу: 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., 29/14.

Автор

1. СОВРЕМЕННОЕ ВОЗЗРЕНИЕ НА ПРОЦЕСС И ОБЪЕКТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1. Проектирование как вид трудовой деятельности

Инженерная деятельность весьма многогранна. Каждый представитель этой профессии в той или иной мере связан с проектированием, созданием и использованием объектов техники, организаторской работой. Однако с каждым годом все заметнее дифференциация в трудовой деятельности инженера. Сейчас часто можно слышать о профессии конструктора, эксплуатационника, администратора. Многие высшие учебные заведения перешли на выпуск специалистов с конкретной профессиональной ориентацией. Тем не менее еще зачастую молодому специалисту в начале своего трудового пути приходится решать вопрос — какому виду инженерной деятельности себя посвятить. Нередко решение этого вопроса затягивается на долгие годы, принося огорчения и неудовлетворенность. Решить его нужно еще на студенческой скамье, участвуя в научной, проектной и общественной работе.

Помощь студентам в профессиональной ориентации должны оказывать преподаватели.

Не сомневаясь в важности других видов инженерной деятельности, остановимся на профессии конструктора. Ее особенности относятся как к содержанию необходимых знаний, так и к чертам характера человека. Лучше всего проиллюстрировать эти особенности высказываниями крупнейших конструкторов или воспоминаниями о них самих.

Еще проф. А. П. Сидоров в своей книге «Основные принципы проектирования и конструирования машин», изданной в 1929 г., писал: «Как для проектирования самых разнообразных машин и сооружений (инженерных, гражданских, сельскохозяйственных, дорожных и пр.), так и для выполнения их при посредстве станков и людей инженеру необходимо знакомство как с основными научными предметами — математикой, механикой, физикой и химией и вообще с естественными науками, так и со специальными техническими весьма разнообразными дисциплинами, составляющими программу высшего технического образования; но для проектирования машин и сооружений разного назначения инженеру приходится знать, и иногда весьма детально, условия

работы того, для чего или для кого назначается машина или постройка, технические процессы, для которых он строит станки, характер и вкусы публики, для которой будут делаться машиной изделия (ручные машинки, оружие, материи и т. п.). Для постройки аудиторий театров и концертных залов необходимо знать акустику и музыку, для постройки конюшни для лошадей или хлева для свиней — нравы этих животных и т. д.».

О необходимой широте знаний читаем и в книге «Цель жизни» выдающегося конструктора А. С. Яковлева: «Наука и техника достигли таких вершин, что дальнейшее их развитие требует от специалиста разносторонности. Инженеру-конструктору, особенно если он мечтает об интересной творческой работе, я уже не говорю о самостоятельной творческой работе, должны быть органически присущи широта взглядов, глубокая образованность, знание проблем современной науки и техники, интерес к различным отраслям знаний».

А вот как характеризуется труд конструктора академиками Н. А. Доллежалем и А. И. Целиковым в статье «Им создавать машины будущего»¹: «Конструирование — одна из самых творческих сфер умственной деятельности и в то же время весьма ответственных. Ведь конструктор — это творец научно-технического прогресса. В то же время от проведенной им за чертежной доской линии или выбранного размера часто зависят результаты работы предприятий — как изготовляющих машину, так и эксплуатирующих ее. Не будет преувеличением сказать, что конструкторам принадлежит главный творческий вклад в создание материальных ценностей, и особенно тех, от которых зависит технический прогресс, а следовательно, и рост производительности труда в стране».

Труд конструктора не легок. Сомнения, неудовлетворенность, разочарования — частые его спутники в постоянном поиске.

Что же тогда привлекает в профессии конструктора? Вновь читаем в книге А. С. Яковлева: «Поставить перед собой цель, разгадывать непонятное, экспериментировать, рассчитывать и, наконец, торжествовать победу — в этом великое удовлетворение. Испытывает его каждый, кто создает новое».

И чем труднее дается цель, тем больше удовлетворение, когда она достигнута».

Какими же чертами характера обладают выдающиеся конструкторы? Акад. М. В. Келдыш давал такую характеристику С. П. Королеву: «Преданность делу, необычный талант ученого и конструктора, горячая вера в свои идеи, кипучая энергия и выдающиеся организаторские способности... Он обладал громадным даром и смелостью научного и технического предвидения, а

¹ Правда. 1981. 23 мая.

это способствовало претворению в жизнь сложнейших научно-технических замыслов».

И еще одна черта С. П. Королева состояла «...в умении держать свои самые дальние мысли на прямой оси логики... То, что для одних было фантастикой, полетом воображения, для него было целью, путь к которой ему ясен в каждом отрезке»¹.

Часто говорят о таланте конструктора. Несомненно он существует. Люди по-разному склонны к различным видам деятельности. Но талант — это прежде всего желание **трудиться**. Опять обращаемся к книге А. С. Яковлева: «Некоторые думают, что талант — это дар, которым наделенный от господ бога человек может без особых усилий, по одному только наитию совершать открытия, изобретения, создавать новую технику — словом, творить чудеса. А на самом деле талант — это не дар божий и не только прирожденная способность человека к той или другой деятельности, это прежде всего труд, труд и еще раз труд, умноженный на терпение».

Несмотря на постоянное развитие средств автоматизации, проектирование остается и будет оставаться видом трудовой деятельности, требующим определенной склонности к творчеству.

Проф. А. П. Сидоров дал такое определение: «... конструирование есть искусство, опирающееся на научные основы». Напомним, что об этом А. П. Сидоров писал в 30-е годы нынешнего столетия. С тех пор научные основы несомненно окрепли, однако и сейчас творчество остается неотъемлемой частью проектирования. В работе [66] по этому поводу говорится: «Творчество можно определить как успешный полет мысли за пределы известного. Оно дополняет знания, способствует созданию вещей, которые не были известны ранее». В этой работе определены необходимые качества проектировщика:

грамотность, под которой понимается знание фундаментальных и специальных наук;

мастерство в использовании различных методов при решении возникающих задач и умение излагать и отстаивать свои идеи; заинтересованность в создании наилучших технических устройств;

любовь к творчеству.

В приведенном перечне такие качества, как любовь к творчеству и заинтересованность, во многом определяются природными данными, но развиваются они лишь при условии постоянной практики. Установлено, что люди, склонные к ассоциациям, т. е. к связи идей, в большей мере способны к удачному решению конструкторских задач.

Автор имел возможность проверить это утверждение в учебной практике. В ходе занятий со студентами первого курса по

¹ С. П. Королев (к 70-летию со дня рождения). Сборник. М., 1977.

дисциплине «Введение в специальность» давалось задание найти применение какому-либо предмету кроме его прямого назначения. На решение поставленной задачи отводилось 10 мин. Ответы предлагалось записать на листочках, помеченных тем или иным девизом. Разбор итогов решения задачи проходил на следующем занятии. Проведенные неоднократно, такие контрольные работы выявили определенные закономерности. Часть студентов вообще не принимала в них участие, не желая утруждать себя или придерживаясь принципа «а зачем мне это надо», тем более, что ответы имели анонимный характер. При разборе результатов по этому поводу говорилось следующее. Не исключено, что студенты, не пожелавшие участвовать в контрольной работе, обладают препятствием к творчеству — не верят в свои силы, боятся критики или просто не желают себя утруждать. Группа ответов не могла выйти за рамки обычного назначения предмета. Так применительно к журналу для учета посещений занятий, предложенного на рассмотрение, варьировались различного рода записи в нем. При анализе отмечалось, что эти ответы свидетельствуют о инерции мышления, также препятствующей творчеству. И наконец, третью группу составили ответы студентов, нашедших применение заданному предмету за пределами его назначения. Тот же журнал предлагалось использовать как наглядное пособие при изучении геометрических фигур, как меру длины, как веер и др. По поводу таких ответов говорилось, что их авторы обладают ассоциативным мышлением, им следует подумать о профессии конструктора. Некоторых студентов такие контрольные работы приводили в СКБ, как они сами позже об этом рассказывали.

Грамотность и мастерство конструктора вырабатываются в процессе обучения. В значительной мере способствует улучшению подготовки специалистов развитие методологии проектирования.

1.2. История развития методов проектирования

Начнем с терминологии. Согласно ГОСТ 22487—77 под проектированием понимается процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще не существующего объекта. Помимо понятия проектирования бытует и другое — конструирование. Нередко они используются как синонимы, однако чаще под конструированием понимают конкретное воплощение определенного технического решения, и в этом случае оно предстает как составная часть проектирования. Будем придерживаться этой точки зрения.

Прежде чем что-либо создать, человек формирует в своем воображении субъективную модель предмета труда. Дальнейшая его деятельность заключается в ее реализации. Эти два услов-

ных этапа трудового процесса назовем «проектирование и исполнение».

Если в трудовом процессе участвует один человек, то модель предмета труда может замыкаться внутри его собственных представлений и понятий. Так было в эпоху ремесленного производства, когда изделия создавались мастером без какой-либо видимой подготовки, т. е. кустарным способом. Так бывает и теперь, если предмет труда представляет собой несложный объект. Как только в трудовой процесс вовлекается другой участник, так появляется необходимость передать ему информацию о предмете труда. Делается это в том или ином условном коде — в форме речи, словесного или графического описания. История сохранила изображения объектов, создаваемых в разные периоды. Среди них особо привлекают внимание творения эпохи Возрождения и в первую очередь рисунки Леонардо да Винчи.

Проектирование в форме чертежей появилось в XVIII в. В России преподавание черчения в специальных технических школах было введено по указу Петра I. Одну из таких школ окончил И. И. Ползунов. Сохранились чертежи многочисленных сложных механизмов и станков, выполненных И. П. Кулибиным.

Метод графических изображений, в частности метод прямоугольных проекций, получил достаточно полное научное обоснование лишь в конце XVIII — начале XIX в. К этому времени уже оформилась наука — начертательная геометрия, нашедшая широкое применение в решении задач строительной техники, фортификационного строительства и в дальнейшем при выполнении машиностроительных чертежей.

В России курс начертательной геометрии впервые начал читать проф. Я. А. Севастьянов в 1809 г. в Петербургском институте инженеров путей сообщения.

Если считать основными метапроцедурами проектирования *принятие решения, преобразование и отображение модели объекта*, то весь предшествующий исторический этап был связан главным образом с развитием двух последних. Начертательная и аналитическая геометрия, черчение, теоретическая механика, теория машин и механизмов, детали машин и другие дисциплины дают мощный аппарат для их выполнения.

Основным документом, закрепляющим в настоящее время в законодательном порядке последовательность этапов проектирования, форму и содержание технических документов, является Единая система конструкторской документации (ЕСКД).

Если же попытаться проследить развитие методов выполнения метапроцедуры принятия решений, то здесь еще нельзя найти таких больших достижений, как по другим двум. До сих пор можно стать свидетелями спора о том, что такое проектирование — наука или искусство. Правильный ответ был и остается один — проектирование — это и наука и искусство.

потому, что оно неразрывно связано с творчеством, наука, так как опирается на обобщенные и систематизированные знания. В разных эпохах доли того и другого начала были различны. Вспомним вновь эпоху Возрождения. К техническому творчеству обращались многие выдающиеся мыслители, художники. По мере развития и совершенствования техники одних творческих способностей становится недостаточно. Сейчас даже самый талантливый художник вряд ли возьмется за инженерное проектирование, если у него нет специальных знаний. И в то же время еще много в процессе проектирования связано с творческими способностями человека, его воображением и интуицией. Творчество будет всегда необходимо проектированию. Однако весь ход исторического развития его методов свидетельствует о том, что неуклонно возрастает число операций, переходящих в разряды формализованных, выполняемых по определенным алгоритмам.

Обратимся к фундаментальным исследованиям в области теории механизмов акад. И. И. Артоболевского [9].

Проектирование механизмов рассматривается здесь как сложная комплексная проблема, решение которой рекомендуется разбить на несколько самостоятельных этапов. Первый — установление основной кинематической схемы механизма, отвечающей требуемому виду и закону движения. На втором этапе разрабатывается конструктивная форма механизма, обеспечивающая его прочность, долговечность, высокий коэффициент полезного действия (к. п. д.) и т. д. Третьим этапом является достижение технологических и технико-экономических показателей проектируемого механизма, определяемых эксплуатацией в производстве и ремонтом.

Теория машин и механизмов берет на себя методы, с помощью которых может быть решен первый этап проектирования — разработка кинематических схем механизмов, воспроизводящих требуемый закон движения. При этом в качестве дополнительных учитываются вопросы второго и третьего этапов: к. п. д., возможность изготовления деталей и их сборка.

Раздел теории механизмов, посвященный методам проектирования, носит название синтеза механизмов. Основные задачи синтеза:

- 1) преобразование вращательного движения вокруг одной оси во вращательное движение вокруг другой;
- 2) преобразование вращательного движения в поступательное;
- 3) преобразование поступательного движения вдоль одной заданной прямой в поступательное движение вдоль другой;
- 4) воспроизведение одной из точек звеньев механизма требуемой траектории.

При решении вышеназванных задач учитываются структурные, кинематические, динамические и метрические условия.

Общая постановка задачи синтеза механизмов сводится к следующему.

Заданы законы движения ведущего и ведомого звеньев в виде функции положения или функции передаточного отношения. Необходимо подобрать механизмы, преобразующие движение ведущего в движение ведомого звена.

Не только синтез, но и анализ механизмов используется при проектировании. Но весь этот мощный аппарат вступает в силу лишь тогда, когда выбрана кинематическая схема, т. е. на стадиях, связанных с разработкой эскизного и технического проектов, рабочей документации.

Что же касается технического задания и технического предложения, то решаемые при их выполнении задачи выходят за рамки традиционной теории машин и механизмов.

Развитие техники столкнулось с рядом противоречий. Первое из них заключается в преобладании темпа роста сложности технических систем (ТС) над развитием методов их проектирования.

Возрастание сложности ТС проявляется в увеличении количества входящих в нее подсистем и элементов. По данным [1], в среднем по всем отраслям техники число подсистем и элементов в ТС удваивается через каждые 15 лет. Растет разделение труда и число специалистов, разрабатывающих ТС. Осложняется согласование действий, теряется представление о разрабатываемой ТС как о едином целом. ТС оказывается малоэффективной или неработоспособной, несмотря на высокие показатели ее подсистем и элементов.

Второе противоречие проявляется во взаимодействии таких факторов, как продолжительность разработки и срок морального старения ТС. Оба фактора измеряются временем, причем срок разработки с повышением сложности ТС возрастает, а время до морального износа из-за ускорения научно-технического прогресса неуклонно снижается. Устранение этого противоречия может быть достигнуто, во-первых, повышением производительности труда в проектировании; во-вторых, построением ТС на основе перспективных технических решений. С начала века производительность труда в проектировании возросла лишь на 20 %, в то время как в производстве — на 1000 %. Поиск перспективных технических решений в условиях традиционных методов и средств проектирования осложняется из-за постоянного роста объема научно-технической информации, увеличивающегося в 2 раза через каждые 8 лет.

Ко всему этому в настоящее время остро ощущается дефицит конструкторов. Практика настоятельно требует совершенствования методов проектирования.

В 40-х годах нынешнего столетия работами Ю. М. Соболева и Л. Д. Майлса [8] были заложены основы функционально-стои-

мостного анализа (ФСА), получившего в дальнейшем широкое развитие. ФСА представляет собой методический инструмент проектирования, построенный на принципах: системности; функционального анализа и синтеза; стоимостной оценки функций; коллективного творчества.

Операции и мероприятия ФСА, выполняемые в определенной последовательности, регулируют качество объекта проектирования, приближая технические решения к оптимальному.

К основным приемам ФСА относятся:

- 1) при поиске вариантов объект рассматривается как комплекс абстрактных функций;
- 2) каждая функция объекта проектирования и его элементов рассматривается системно;
- 3) техническая и экономическая отработка решений определяется параллельно;
- 4) ориентиром в процессе проектирования выступают допустимые лимиты затрат по функциям;
- 5) устранение бесполезных и вредных функций и элементов;
- 6) многовариантность технических решений;
- 7) алгоритмизация выполнения процедур и операций;
- 8) коллективный поиск решений.

Особенность современных методологических исследований — это ориентация на широкое использование ЭВМ и создание систем автоматизированного проектирования.

1.3. Основные сведения о САПР

Рассмотрение САПР начнем с основных терминов и определений в соответствии с ГОСТ 22487—77.

Различают неавтоматизированное проектирование, при котором все преобразования описаний объекта осуществляет человек, и автоматизированное, предполагающее выполнение некоторых проектных операций и процедур во взаимодействии человека с ЭВМ. Под проектной процедурой понимается формализованная совокупность действий, оканчивающаяся проектным решением. Проектная операция составляет часть проектной процедуры. Алгоритм ее выполнения остается неизменным для ряда проектных процедур. Проектное решение составляет промежуточное или конечное описание объекта, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончания проектирования.

Комплекс средств автоматизации проектирования включает различные виды обеспечения: техническое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, методическое, организационное.

Общие требования к техническому обеспечению автоматизированного проектирования определены ГОСТ 23501.101—87.

Технические средства делятся на следующие группы:
подготовки и ввода данных;
передачи данных;
программной обработки данных;
отображения и документирования данных;
архива проектных решений.

Группа подготовки и ввода данных предназначена для автоматизации подготовки и редактирования данных при вводе в ЭВМ различных видов алфавитно-цифровой и графической информации. Она должна представлять возможность кодирования информации, нанесения данных на машинные носители, ввода данных в ЭВМ, визуального контроля и редактирования данных при их вводе. В группу должны входить устройства подготовки и ввода данных предпочтительно с экранных пультов, магнитных и других современных видов носителей, а также устройства ввода графической информации.

Группа передачи данных предназначена для обеспечения дистанционной связи технических средств по телефонным, телеграфным и другим специальным каналам.

Группа программной обработки данных строится на ЭВМ общего или специального назначения и должна предоставлять возможность проектирования и эксплуатации программного обеспечения, замену или наращивание ЭВМ одной и той же системы, учета времени работы, мультипрограммного и диалогового режимов работы.

Группа отображения и документирования данных предназначена для оперативного представления проектировщику необходимых данных и документирования проектных решений. В группу должны входить устройства вывода информации на экран, бумагу, микрофильмы, микрофиши.

Группа архива проектных решений обеспечивает хранение, контроль, восстановление и размножение данных о проектных решениях, а также справочных данных. В группе следует использовать устройства автоматизированного доступа к микрофильмированным документам.

В системах автоматизированного проектирования могут использоваться как большие, малые, так и микроЭВМ. Большие ЭВМ серии ЕС (ЕС-1040, ЕС-1045, ЕС-1050 и др.) позволяют благодаря большому объему оперативной памяти и быстродействию решать задачи, требующие значительного объема вычислений. Однако преобладающая в настоящее время на большинстве вычислительных центров пакетная обработка прерывает оперативный контакт пользователя с ЭВМ. К тому же растет число технических средств ввода и вывода информации, сопряжение их с большой ЭВМ значительно увеличивает машинное время решения задачи и становится неэкономным. В последние годы появились и стали широко использоваться интеллектуаль-

ные терминалы, имеющие свой собственный мини- или микро-процессор, и разветвленные периферийные устройства. Такие интеллектуальные терминалы (их часто еще называют абонентскими пунктами) помимо ввода—вывода способны выполнять и обработку данных. Интеллектуальный терминал обеспечивает индивидуальное пользование и ориентирован, как правило, на конкретную область применения, а самое главное, он разгружает центральную ЭВМ от редактирования и преобразования символьных текстов и графических данных.

Развитие интеллектуальных терминалов привело к созданию автоматизированных рабочих мест конструктора (АРМ) на базе мини- и микроЭВМ. Отечественная промышленность выпускает комплекты АРМ, включающие:

- мини-ЭВМ (СМ-4, СМ-1420, СМ-1700 и др.);

- накопитель на магнитных дисках;

- накопитель на магнитной ленте;

- устройство ввода—вывода с перфоленты;

- устройство ввода—вывода с перфокарт;

- алфавитно-цифровой дисплей;

- графопостроитель;

- кодировщик графической информации;

- алфавитно-цифровое печатающее устройство;

- устройство связи с ЭВМ верхнего уровня.

Программное обеспечение составляет совокупность машинных программ, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования. Оно строится, как правило, на базе программного обеспечения ЭВМ, организованного в виде операционной системы (ОС ЭВМ). В настоящее время существует несколько ОС ЭВМ: ОС ЕС и ДОС ЕС для ЭВМ серии ЕС; ОС РВ, ДОС, РАФОС и другие для мини-ЭВМ.

Основные функции ОС ЭВМ: максимальная загрузка оборудования; управление заданиями; управление задачами; управление данными.

На первых этапах автоматизации проектирования обходились средствами ОС ЭВМ. В дальнейшем стали создаваться библиотеки прикладных программ для решения отдельных задач проектирования и пакеты прикладных программ (ППП), представляющие совокупность машинных программ, необходимых для выполнения какой-либо проектной процедуры.

В настоящее время разрабатываются программы, управляющие процессом проектирования. В совокупности с ОС ЭВМ и ППП они образуют операционную систему автоматизированного проектирования.

Математическое обеспечение составляет совокупность математических методов моделей и алгоритмов проектирования. По существу оно оказывается основой для разработки программного обеспечения. Математический метод определяет постановку

и способ решения конкретной задачи проектирования. Совокупность методов составляет методику проектирования.

Математическая модель представляет условие задачи в виде уравнений, неравенств. Алгоритм образует совокупность предписаний для решения задачи.

Лингвистическое обеспечение объединяет языковые средства проектирования: термины и определения, правила формализации естественного языка, методы сжатия и развертывания текстов, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования.

Язык проектирования образуют символы и правила построения из них описаний объекта проектирования. Различают входной, базовый и выходной языки. *Входной* предназначен для представления задания на проектирование; *базовый* — для дополнительных сведений к первичному описанию объекта проектирования, проектных решений, описаний проектных процедур (в том числе и процедур информационного обмена) и их последовательности. *Выходной* язык представляет проектное решение в форме, удовлетворяющей требованиям его дальнейшего применения.

На первых этапах автоматизированного проектирования довольствовались тем или иным языком программирования, предоставляемым операционной системой ЭВМ. Среди многих из них для автоматизированного проектирования чаще используется ФОРТРАН-IV.

В дальнейшем стали создаваться специальные языки и среди них язык представления графической и текстовой информации (ЯГТИ) [43].

ЯГТИ используется для описания геометрических и текстовых данных об объекте проектирования независимо от устройств хранения этого описания.

По мере развития автоматизированного проектирования создаются языки диалога человека с ЭВМ. Со временем они будут приближаться к обычному разговорному языку и передаваться в форме устной речи.

Выходной язык в том случае, если процесс проектирования завершается разработкой чертежей и текстовой документации, должен соответствовать требованиям ЕСКД. Иначе обстоит дело, если информация с АРМ передается на автоматизированное предприятие. В этом случае в качестве выходного языка можно использовать ЯГТИ.

Методическое обеспечение является основным по отношению ко всем остальным. Чаще всего оно включает компоненты математического и лингвистического обеспечений и определяет теорию, методы, способы, математические модели, алгоритмы, языки для описания объектов проектирования, терминологию, нормативы, стандарты и другие данные, обеспечивающие авто-

матризированное проектирование. Но несмотря на исключительную важность, методическое обеспечение еще не получило должного развития. По своему содержанию оно выходит за рамки других видов обеспечения и представляет самостоятельную задачу, примыкающую к научной дисциплине, которая способна обеспечить ее разрешимость. Такая дисциплина только создается в настоящее время. Она не получила общепринятого наименования. Одни называют ее теорией проектирования, другие — основами проектирования, третьи — методологией проектирования. Причина того, что дисциплина, способная решить задачу методического обеспечения автоматизированного проектирования, еще не сформировалась, кроется в особенностях традиционного проектирования, ориентированного главным образом на творческие возможности человека, его воображение и интуицию, не поддающиеся пока описанию. В этой связи можно полностью согласиться с высказыванием авторов книги «Построение современных систем автоматизированного проектирования» [51] о том, что методическое обеспечение является самым «молодым» и наименее определенным обеспечением, требующим вместе с тем первоочередного внимания как доминирующее средство, предопределяющее разработку всех остальных компонентов автоматизированного проектирования.

Информационное обеспечение составляет совокупность сведений, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования. К числу сведений можно отнести научные статьи о перспективах развития техники, прогнозы, исследования, авторские свидетельства и патенты, законченные проектные разработки, стандарты, нормативы, т. е. все то, что должен знать конструктор, разрабатывая объекты новой техники, и чем он должен руководствоваться в процессе проектирования. Все необходимые сведения образуют фонд информации. На его основе строятся структурные модели объектов информации, преобразуемые затем в знаковые модели. Последние формируются на машинных носителях в виде информационных массивов.

Фонд информации создается на основе анализа процесса проектирования в ходе его автоматизации и в дальнейшем пополняется. Он, как правило, состоит из трех видов информации: оперативной, условно-постоянной и постоянной.

Оперативная информация формируется применительно к конкретной задаче и в памяти ЭВМ не хранится. Условно-постоянная является частью сведений, подлежащих хранению с периодическим обновлением. К такому виду информации можно отнести государственные и отраслевые стандарты, чертежи изделий, технические требования на изделия, прейскуранты цен и др. Постоянная информация подлежит хранению без изменения. К ней можно отнести, например, сведения о структурных и знаковых моделях информационных объектов и др.

До недавнего времени информационные массивы представлялись в форматах, ориентированных на конкретные обрабатывающие их программы. С ростом информационных массивов это приводило к дублированию, а нередко и к противоречию.

В настоящее время информационное обеспечение автоматизированного проектирования ориентировано на базы данных (БД), которые обеспечивают ведение информационных массивов и внесение в них изменений независимо от прикладных программ. Это достигается двумя видами организации БД: логической и физической.

Логическая организация представляет данные и связи между ними в виде логической структуры и предназначена для прикладных программистов (пользователей). Физическая организация означает физическую структуру размещения данных на внешних носителях. Связь между логической и физической структурами осуществляют специальные программы, входящие в систему управления базой данных (СУБД), по своему назначению близкую к операционным системам ЭВМ и обеспечивающую выполнение, помимо уже указанной, следующих операций:

- управление созданием базы данных;
- управление вводом и размещением данных в базе;
- управление хранением данных;
- управление поиском и выводом данных из базы;
- управление реструктуризацией базы, означающей преобразование базы в новую в соответствии с заданными условиями.

Организационное обеспечение объединяет документы, устанавливающие структуру проектной организации и ее подразделений, связи между ними, их функции, а также форму представления результата проектирования и порядок рассмотрения проектных документов, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования.

Совокупность различных видов обеспечения образует комплекс средств автоматизации проектирования.

Организационно-техническая система, объединяющая комплекс средств автоматизации проектирования и необходимые подразделения проектной организации (пользователей), называется Системой автоматизированного проектирования (САПР). Подсистемы САПР, согласно ГОСТ 23501.101—87, разделяются на два вида: проектирующие и обслуживающие.

Проектирующие подсистемы выполняют основные проектные процедуры и операции, т. е. обеспечивают преобразование описаний объекта проектирования; *обслуживающие* — представляют описание в виде отдельных документов и обеспечивают хранение, поиск и передачу информации от одной проектной процедуры (операции) к другой.

Проектирующие подсистемы по области применения могут быть общего назначения и проблемно-ориентированные. Первые применимы в любой области техники, вторые ориентированы на конкретные объекты.

В настоящее время в отечественной и мировой практике уже действуют многие подсистемы САПР. Особенное развитие они получили в авиации, судостроении, автомобилестроении, станкостроении. В Советском Союзе, с целью централизованного снабжения проектных организаций программными средствами, создан специализированный фонд, хранящийся в научно-производственном объединении «Центропрограммсистем» (г. Калинин).

Дать полный перечень существующих подсистем невозможно, приведем лишь примеры. Начнем с обслуживающих подсистем.

Это, например, «Адаптивная информационная система» (СУБД АИСТ), ориентированная на обработку больших объемов данных сложных структур, функционирующая под управлением операционной системы ЕС ЭВМ; Интерактивная информационно-поисковая система ПОИСК-1.2, обеспечивающая автоматическое создание (без ручного индексирования документов), расширение и поддержку информационных баз и доступ к документам при поиске; «Система управления базами данных сетевой структуры» (СУБД «СЕТОР»), ориентированная на ЭВМ серии ЕС, а также СУБД «СЕТОР-СМ» и СУБД «МИКРО-СЕТОР» для ЭВМ серии ЕМ.

В общей сложности только на базе средних и больших ЭВМ действует в настоящее время свыше 20 СУБД.

Из подсистем машинной графики можно назвать: комплекс программ ГРАФОР, используемых в качестве программного обеспечения автоматизированного рабочего места (АРМ); систему интерактивной графики (СИГ) для работы с графическим дисплеем ЭПГ-СМ под управлением ОС РВ; систему графического обеспечения автоматизированного рабочего места конструктора изделий машиностроения (АРМ-М РАФОС); систему организации обмена графической информацией и доступа к графическому оборудованию (UNIGRAF) и др.

Большую группу составляют подсистемы научно-технических расчетов. Часть из них входит в программное обеспечение ЭВМ, другие разработаны в дополнение к нему. К таким можно отнести, например, ППП «Градиент», предназначенный для анализа нелинейных математических моделей; пакет прикладных программ методов численного анализа (ППП ЧАП), расширяющий библиотеку программ пользователя на ФОРТРАНЕ; пакет программ для научно-технических расчетов (ППП НТР), предназначенный для хранения и преобразования матриц; ППП

«Обработка данных методами математической статистики» (ППП ПАСТ) и др.

Многочисленны и проектирующие подсистемы как общего назначения, так и проблемно-ориентированные. Назовем только некоторые из подсистем общего назначения: программные комплексы ПРИНН-1, ПРИНН-2, ПРИНН-3, рассчитанные на многовариантный выбор решений [2]; система формирования алгоритмов конструкторско-инженерных расчетов (ФАКИР), предназначенные для автоматизации построения алгоритмов и программ решения задач проектирования сложных объектов машиностроения; пакеты программ ALIS и PLIMO для автоматизированного имитационного моделирования детерминированных и случайных колебаний многомерных механических систем; операционная система эргономического проектирования системы «человек—машина» (АСЭП); пакет прикладных программ для расчетов цилиндрических зубчатых передач и др.

Еще более многочисленны подсистемы технологической подготовки производства. Вот только две из них: пакет программных средств генерации систем автоматизированного проектирования технологических процессов конкретного предприятия (ППА «Технология»). Автоматизированная система формирования проектной информации по материальным ресурсам (АСПИР, редакция 5.2) [4].

В настоящее время ведутся работы и по созданию специальных операционных систем САПР (ОС САПР), объединяющих проектирующие и обслуживающие подсистемы, а также подсистемы диалога для организации интерактивного взаимодействия пользователей с ЭВМ на этапах выполнения проектных процедур. Эти работы были бы более успешны, если бы разработчики САПР имели формализованное описание самих проектных процедур. Однако в этом-то и состоит основная сложность. Многие из проектных операций и процедур могут быть выполнены пока только человеком. Методологические исследования, достижения в области создания искусственного интеллекта неуклонно, этап за этапом, вскрывают механизмы творчества человека, создают методы «машинного творчества», не уступающие зачастую по результативности человеческим. Все это расширяет возможности САПР, делает ее более интеллектуальной.

Какова же роль в развитии САПР инженеров-механиков? Нередко еще можно услышать мнение, что САПР — это дело специалистов в области ЭВМ. Вот пусть они совершенствуют свои машины и обучают их проектированию. Сторонники этого мнения забывают, что ЭВМ лишь реализуют программы, составленные специалистами на основе определенных методов выполнения проектных операций и процедур.

Метод, таким образом, оказывается основой для всего строения САПР. Наиболее общие, независимые от объекта проекти-

рования методы входят в сферу кибернетики, искусственного интеллекта. Но наряду с ними нужны и методы выполнения проблемно-ориентированных операций и процедур. Выработать их могут только специалисты в соответствующей области техники.

Подъем уровня компьютерной культуры выпускников средних школ, развитие ее в высшей школе позволят студентам машиностроительных специальностей активно участвовать в развитии программного обеспечения САПР. Автор убедился в этом на опыте руководимого им студенческого конструкторского бюро. Читателям пособия предлагается в порядке УИРС (учебно-исследовательская работа) реализовать некоторые из излагаемых в дальнейшем методов в виде алгоритмов и программ.

1.4. Основные понятия о качестве и патентной чистоте объектов новой техники

Все искусственные объекты, мы называем их изделиями, созданы для удовлетворения тех или иных потребностей человека. Потребность в передвижении удовлетворяется транспортными средствами, потребность в облегчении и повышении производительности труда — различного рода технологическими машинами (станками, подъемными кранами, землеройными машинами и т. д.), ЭВМ повышают производительность умственного труда. Вид удовлетворяемой потребности, т. е. назначение, оказывается главным признаком, объединяющим многие различные по своим свойствам изделия.

Согласно ГОСТ 15467—79 под качеством продукции (изделий) понимается совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность удовлетворять определенные потребности применительно к назначению.

Повышение качества машин проводится по двум направлениям:

- 1) совершенствование серийных образцов;
- 2) создание новых машин, воплощающих прогрессивные конструктивные идеи.

Качество машин зависит от совокупности многих факторов [69], среди которых наиболее существенны:

инженерные — конструкция машины и технология ее изготовления;

производственные — технический уровень, состояние технологического оснащения и контрольно-измерительных средств;

снабженческие — сортамент и качество поставляемых предприятию конструкционных материалов и комплектующих изделий;

квалификационные — знания и опыт занятых на предприятии рабочих и ИТР;

организационные — состояние технологической дисциплины;

экономические — финансирование мероприятий по повышению качества продукции, система материального стимулирования.

Нужно помнить, что повышение качества неотъемлемо связано с дополнительными расходами. Окупаемость дополнительных затрат обеспечивается повышением эффективности использования машин — снижением затрат на техническое обслуживание и ремонт, улучшением условий труда и, как следствие, повышением выработки.

Для оценки качества машины пользуются системой показателей. Показателем качества машины называют количественное выражение одного или нескольких ее свойств. Показатели качества классифицируют по следующим признакам:

1) по количеству характеризуемых свойств: единичные и комплексные показатели. Первые выражают одно какое-либо свойство изделия, вторые — одновременно несколько свойств;

2) по отношению к свойствам: надежности, эргономичности и др.;

3) по способу выражения: балльные и выраженные другими способами;

4) по методу определения: определяемые органолептически (органами чувств), социологическими, экспертными и другими методами;

5) по стадии определения: проектные (эстетические, эргономические, стандартизации, унификации и т. п.), производственные (технологичность) и эксплуатационные (надежность и др.);

6) по области применения: к единице продукции, к совокупности единиц продукции, к совокупности разнородной продукции;

7) по применению для оценки уровня качества: базовые и относительные.

Проектируемая машина помимо главного признака — назначения — характеризуется рядом других, некоторые из которых выражаются количественно, другие качественно. Количественные признаки выступают в роли параметров. По ходу проектирования многие признаки переходят из разряда качественных в разряд количественных. Так, на этапе поиска технических решений, когда отображение вариантов ограничено принципиальной схемой, трудно оценить количественно, например, технологичность изделия. Другое дело при разработке рабочей документации. Оценка качества происходит на всех этапах, однако наиболее достоверные данные можно получить при завершении работ.

В большинстве стран мира действует законодательство об охране прав изобретателя. Документ, удостоверяющий признание предложения изобретением, приоритет изобретения, авторство на изобретение и исключительное право на него, называется

патентом. Технические решения, подпадающие под действие патента, не могут быть применены без согласия патентообладателя. Нарушение его прав в ряде стран карается арестом ввезенной продукции, наложением штрафов, а иногда и тюремным заключением.

Объекты новой техники должны обладать патентной чистотой [50]. Патентная чистота — это юридическое свойство объекта техники, заключающееся в том, что он может быть свободно использован в данной стране без опасности нарушения действующих на ее территории патентов на изобретение. Таким образом, патентная чистота определяется применительно к конкретной стране. Так, например, техническое решение может обладать патентной чистотой в ФРГ и не обладать — в США.

В СССР патенты на изобретение выдаются как советским гражданам, так и иностранцам. Поэтому проверку на патентную чистоту необходимо проводить для любых объектов новой техники независимо от того, предполагается или нет их экспорт.

Изобретения, закрепленные в нашей стране авторскими свидетельствами, могут использоваться гражданами и организациями Советского Союза без получения на это разрешения автора.

Проверка на патентную чистоту проводится на основе Инструкции по экспертизе объектов техники на патентную чистоту¹. Осуществляется она конструктором с помощью работников патентных подразделений, существующих во всех НИИ, КБ и вузах. Проверка заключается в отыскании всех действующих в данной стране патентов, имеющих отношение к техническим решениям, использованным в объекте новой техники. Если в результате ее будет найден патент, охватывающий весь объект или хотя бы его часть, необходимо принять меры к обходу. Такими мерами могут быть:

- изменение технического решения, но не в ущерб качеству объекта;

- территориальное ограничение при экспорте продукции;

- приобретение лицензии на использование изобретения;

- подача протеста, если патент выдан в стране, требующей от изобретений мировой новизны, а по защищаемому им техническому решению выдано в СССР авторское свидетельство, причем публикация о нем произведена ранее даты приоритета патента.

Патентные исследования проводятся в ходе всего процесса проектирования, по их результатам составляется патентный формуляр.

¹ Законодательство СССР по изобретательству. М., 1982. Т. 2. С. 83—102.

Повышение качества машин, как уже отмечалось, достигается или совершенствованием существующих образцов, или созданием принципиально новых, воплощающих прогрессивные конструктивные идеи. Оба пути диалектически связаны между собой. Первый отражает эволюционное развитие, второй — революционное. Законы развития в технической сфере такие же, как и в природе. С момента возникновения нового вида технических объектов, происшедшего в результате революционного скачка, его дальнейшее развитие идет путем количественных изменений. Однако это может происходить лишь до определенного предела, когда становится невозможным дальнейшее улучшение показателей в рамках существующего вида. С этого момента развитие приобретает революционный характер и приводит к появлению нового вида технических объектов, реализующего более прогрессивную технологию.

Смена одного вида технических объектов другим, хотя и вызывается объективной необходимостью, не происходит сама по себе. Она готовится в ходе длительных фундаментальных и прикладных исследований, опытно-конструкторских разработок, проводимых одновременно с развитием существующего вида.

Момент смены определяется в обществе не только технической подготовкой, но и экономической. Переход к выпуску нового вида продукции связан с реконструкцией производства, а это вызывает немалые затраты.

Приступая к созданию объектов новой техники, конструктор должен осознать необходимую степень новизны. Он тем и отличается от научного работника и изобретателя, хотя в определенные периоды деятельности и выполняет их функции, что всегда помнит о реальных возможностях воплощения «в металл» своих технических решений.

Степень новизны объектов техники во многом зависит от заданных технических характеристик. Если есть возможность достичь их в рамках существующего вида, то это обойдется, как правило, дешевле. К тому же применение уже апробированных технических решений обеспечит безотказную работу машины.

Преимущество технических решений при конструировании обеспечивает достижение качественных показателей с меньшими затратами. Даже если создается новый вид технических объектов, всегда остается место для применения известных и апробированных на практике технических решений хотя бы для части узлов и деталей.

Где же искать резервы для повышения качества объектов новой техники? Для улучшения уже существующих машин такими резервами являются применение новых материалов, рациональных профилей, повышение единичной мощности, надежности; снижение трудоемкости обслуживания и ремонта; улучшение эргономических и экологических свойств. Вновь создавае-

мые машины должны отвечать принципу системности, т. е. оптимально сочетаться с другими, обеспечивающими весь комплекс работ; реализовывать новейшие технологии; отвечать возросшим требованиям общества к эргономическим и экологическим характеристикам; снижать удельные расходы энергии и материала.

Поиску новых принципов действия машин может помочь кибернетика и особенно одно из ее направлений — бионика. Она вскрывает удивительные механизмы взаимодействия животного и растительного мира с окружающей средой, добытые природой в результате многовекового естественного отбора.

2. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1. Проектирование с позиций марксистско-ленинской теории отражения

Проектирование есть форма отражения объективного мира. Для раскрытия сущности проектирования необходимо остановиться на таких категориях, как: субъект и объект проектирования; познавательный образ; воображение и интуиция; ценность и оценка. Нужно вскрыть творческие начала в процессе проектирования и возможность формализации его приемов. Особое внимание следует уделить эвристической роли знаков.

Марксистско-ленинская теория познания в философской литературе освещена весьма широко. Однако проектированию, как весьма специфической форме отражения, уделено явно недостаточно внимания.

Несомненно, рассматривать проектирование следует не только с позиции философии, но и таких наук, как психология, системотехника, кибернетика, логика и др. Тем не менее теория отражения дает возможность вскрыть наиболее общие законы процесса проектирования.

Субъект проектирования. Под субъектом проектирования можно понимать отдельного человека, коллектив специалистов, искусственный интеллект. По аналогии с субъектом познания [36] субъект проектирования является системой, осуществляющей извлечение информации о внешних явлениях природы и общественной жизни, включая процесс коммуникации в широком смысле слова (передача сведений в ходе обучения, обмен мнений, борьба идей и т. д.).

Подход к субъекту проектирования как к системе обусловлен наличием в нем всех ее атрибутов. Действительно, проектирование состоит в одновременном и последовательном выполнении некоторых операций, начиная с формирования задачи про-

ектирования и кончая разработкой рабочей документации. Каждая операция имеет собственную цель, которая вытекает из общей цели и является ее частью. Выполнение той или иной операции независимо от того, участвует в проектировании один человек или целый коллектив, начинается и завершается по определенной команде. Таким образом, формируется система, имеющая цель функционирования, иерархическую структуру и управление. Средством функционирования этой системы является информация о результатах операций. Показателем эффективности системы можно считать качество создаваемого объекта.

Объект проектирования. Основная отличительная особенность проектирования от познания вообще состоит в том, что объект проектирования в отличие от объекта познания еще не существует, однако его образ воспринимается субъектом как реальный, с присущими ему внутренней динамичностью и противоречивостью. Современные объекты проектирования выступают как сложные системы с большим количеством взаимосвязанных подсистем и элементов. Объект проектирования существует в определенном окружении, взаимосвязь с которым и характеризует его жизнедеятельность. Современный стиль мышления, и это в полной мере относится к проектированию, — системный, кибернетический. Не надо полагать, что он возник сам по себе в отрыве от развития философии, логики. Системный, кибернетический стиль мышления на самом деле является воплощением принципов и средств диалектической логики. Нормы и правила системного мышления разработаны в трудах В. И. Ленина. В работе «Еще раз о профсоюзах» В. И. Ленин характеризует условия действительного познания объекта¹. Во-первых, надо охватить и изучить все его стороны, все связи и «опосредования». Несмотря на то что достичь этого полностью никогда не удастся, требование всестороннего охвата объекта предостерегает нас от ошибок и от омертвления. Во-вторых, диалектическая логика требует брать объект в его развитии. В-третьих, познание объекта неразрывно связано с человеческой практикой, которая выступает и как критерий истины, и как практический определитель связи объекта с тем, что нужно человеку. В-четвертых, ...«диалектическая логика учит, что абстрактной истины нет, истина всегда конкретна».

Познавательный образ. Формирование познавательного образа (субъективной модели) при проектировании вызывается внутренней активностью субъекта, «скрытой» его деятельностью. Нужно отметить, что формирование субъективной модели сопровождает любую трудовую деятельность и поэтому психофизические процессы, происходящие в сознании человека

¹ См.: Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 42. С. 290.

при проектировании, подчиняются общим закономерностям. Для раскрытия «механизмов» проектирования весьма полезно использовать теорию нитериоризации, согласно которой **мыслительные** операции формируются в результате своеобразного переноса внешнепредметных действий во внутренний план. Такой подход к мыслительной деятельности позволяет выявить сложный операционный характер всех его форм, динамичность мыслительных структур.

Трудовая деятельность [17] — это реализация личностных свойств человека. Сопровождается она преобразованием информации и энергии. Ее можно условно разделить на две части: информационный поиск и обслуживание. Информационный поиск заключается в обработке информации и оценке ее. Восприятие информации на первом этапе трудовой деятельности включает: обнаружение объекта восприятия, выделение в нем отдельных признаков, отвечающих стоящей перед человеком задаче, ознакомление с выделенными признаками. На втором этапе производится анализ и обобщение информации на основе заранее заданных или сформированных критериев оценки. Анализ информации сопровождается сопоставлением ее со сложившейся у человека внутренней образно-концептуальной моделью объекта. Концептуальная модель формируется в сознании человека как продукт осмысливания сложившейся ситуации с учетом стоящих перед ним задач. Различают постоянную (или медленно меняющуюся) образно-концептуальную модель, хранящуюся в долговременной памяти человека, и оперативную, — образующуюся в процессе переработки информации и хранящуюся в оперативной памяти. Постоянная модель конкретизирует прошлый опыт человека и знания, полученные в процессе обучения. Оперативная же выступает как модель, полученная в результате преобразования входной информации и информации, поступающей из постоянной концептуальной модели. В некоторых случаях, в том числе и при проектировании, возникает не одна, а несколько оперативных моделей, каждая из которых является по существу вариантом возможного решения.

Третий этап трудовой деятельности, относящийся уже к обслуживанию, состоит в принятии решения. В процессе принятия решения человек манипулирует с оперативными моделями, выбирая из них ту, которая в наибольшей степени отвечает реальной ситуации и конкретной задаче. Четвертый этап заключается в приведении принятого решения в исполнение, а пятый — в контроле за результативностью исполнения.

Нужно отметить, что существуют два типа трудовой деятельности. Первый из них связан с информационным поиском весьма незначительно. Характер этой деятельности определен прямым замыканием входной информации на постоянную концептуальную модель с последующим переходом к четвертому эта-

пу — реализации принятого решения. Такая деятельность имеет место в хорошо знакомой ситуации, она не требует творческого подхода. Второй тип носит название деятельности с отсроченным обслуживанием. Он характеризуется развернутым по времени сложным информационным поиском, когда процесс восприятия превращается в самостоятельную операцию, переходящую к формированию динамических оперативных моделей, к принятию решения и только затем к реализации этого решения. Проектирование относится именно к этому типу деятельности.

Познавательный образ (модель) при проектировании существует только в сознании, формирование его связано с воображением.

Воображение — мысленное преобразование опыта и знания, ведущее к формированию наглядных образов ненаблюдаемых явлений. В отличие от чисто логического мышления воображение позволяет видеть целое раньше частей, оно носит синтезирующий характер. Однако воображению присущи и логические построения, отражающие роль программ преобразования чувственно-наглядных образов, как элементов, в цельный образ, служащий в свою очередь чувственной опорой, стимулом для абстрактного мышления. Символам воображения свойственна метафорность, многозначность. Они выступают не только знаком объекта, но заключают в себе обобщенный принцип дальнейшего развертывания свернутого в нем смыслового содержания.

Связь воображения с практикой проявляется в форме ассоциаций, когда объекты внешнего мира, ранее познанные человеком в определенном применении, отражаясь, преобразуются в нашем сознании в образы, пригодные для иного применения.

Принцип целостного отражения выражается категориями **часть и целое**. Познание в связи с этими категориями можно раскрыть как движение, начинающееся с представления об объекте как о нерасчлененном целом с последующим переходом к анализу, т. е. расчленению целого на части, а вслед за этим к воспроизведению конкретного целого. В связи с категориями части и целого уместно упомянуть об известном противоречии. Воспроизведение в сознании целого возможно только при условии познания его частей, последнее же предполагает познание целого. Разрешение этого противоречия возможно только с позиций материалистической диалектики. Целое — продукт познания частей, в то же время — исходный пункт познания. Воспроизведение целого до изучения частей коренится, во-первых, на синтезирующей способности человеческого мышления, а во-вторых, отражает динамику внешнего мира, в котором любое целое есть часть более сложной системы и часть есть целое по отношению к ее собственным частям.

Динамика отношений частей и целого раскрывает внутренний механизм выработки технических решений при проектировании. Конечным его результатом является рабочая документация, необходимая для изготовления изделия. Она представляет собой детальную проработку частей объекта. В начальной же стадии на этапах составления технического задания и разработки технического предложения объект изучается как целое и в то же время как часть более сложной системы, включающей помимо проектируемого объекта его окружение.

В диалектическом единстве частей и целого протекает творческий поиск вариантов технического решения. Вначале, на основе анализа факторов окружения в воображении проектировщика синтезируется целостный гипотетический образ объекта. В дальнейшем путем анализа этого образа внутри целого выделяются части в соответствии с выполняемой функцией. Частные функции могут реализовываться теми или иными средствами, составляющими множество технических решений. Определенное сочетание средств реализации частей составляет конкретное целое как вариант технического решения.

Синтез целого на основе перебора различных сочетаний частей представляет наиболее простую форму сознания. Именно она чаще всего поддается формализации и оказывается доступной искусственному интеллекту на базе ЭВМ. Однако случайный перебор — это весьма неэкономная форма мышления. Человеческое сознание может целенаправленно найти среди множества возможных решений наиболее нужное и рациональное. Такая форма сознания проявляется в виде интуиции.

Интуиция образует в нашем сознании целостный образ как бы внезапно и бессознательно. Подобное обстоятельство трактуется представителями идеалистического направления в философии как иррациональное свойство человеческого мышления, как свободная творческая деятельность. Этот ошибочный взгляд порожден непониманием познания в целом и интуиции в частности. Интуитивный синтез объекта при проектировании не может быть противопоставлен наиболее простой форме случайного перебора, но он в то же время и не может быть отождествлен с ней, во-первых, потому, что в нем опущены многие звенья логического хода, во-вторых, потому, что существует не только рациональная, но и чувственная интуиция. Одним из проявлений чувственной интуиции оказывается способность человека к эмпатии, к вживанию в роль проектируемого объекта.

Способность человеческого сознания к интуитивным формам связана с целеполаганием и опережающим отображением. Наличие в сознании цели при отражении действительности в проектировании весьма существенный момент. Любая деятельность человека преследует ту или иную цель. В связи с понятием цели [36] отражение делится на нефункциональное и функ-

циональное. Первое из них свойственно неживой природе и базируется на причинно-следственных связях. Функциональное отражение, присущее живой природе и человеческому мышлению, связано с целями как в своем процессе, так и в его результате. Цель имеет управленческий аспект. На ее основе субъект проектирования ориентируется во множестве возможных решений, находя наилучшие из них, не производя полного перебора и сравнения. Выбор цели при проектировании — весьма важный и ответственный этап. Как говорится в работе [67]: «...гораздо важнее выбрать «правильные» цели, нежели «правильную» систему. Выбрать не ту цель значит решить не ту задачу; выбрать не ту систему значит просто выбрать неоптимальную систему».

Соотношение познавательного образа с целеполаганием связано с такими категориями, как ценность и оценка [36].

Ценность — социальная характеристика объектов. Она одновременно и объективна, и субъективна. Объективность состоит в том, что ценность представляет продукт воздействия человека на природу с определенной целью для удовлетворения своих потребностей. Субъективность же ценности в том, что она проявляется только во взаимоотношении с субъектом, с его желаниями, потребностями, эмоциями.

Оценка — это форма выражения ценности. Она оказывается одной из важнейших сторон деятельности конструктора. В отличие от ученого и изобретателя он формирует познавательный образ на фоне оценочной шкалы, в роли которой выступают достигнутые знания, существующие теории, принципы, законы.

Подход к проектированию с позиций теории отражения позволяет отнести этот процесс к распознаванию [20]. Под распознаванием вообще понимается принятие решения о принадлежности того или иного конкретного объекта или явления к определенному классу. Задачу распознавания можно сформулировать следующим образом. Имеется некоторая совокупность объектов или явлений (систем); на основе определенного принципа производится их классификация (каждый класс описывается на языке словаря признаков). Необходимо установить, к какому классу относится объект или явление, поступающее на вход системы распознавания. Решение задачи состоит в определении параметров изучаемого объекта или явления и сопоставления их по словарю признаков с определенными классами, в результате чего делается заключение о принадлежности объекта или явления к тому или иному из них. Распознавание при проектировании по существу носит тот же характер, с той лишь разницей, что необходимо узнать, не каков объект, а каким он должен быть. Предварительная классификация существующих объектов составляет связанную [36] информацию, которой располагает субъект проектирования до начала распознавания. По ходу проектирования определяются признаки (параметры) познаватель-

ного образа. Информация о них в отличие от предыдущей может быть названа свободной. Вообще под информацией, согласно [36], понимается воспроизведение одной системой (субъект проектирования) структуры (разнообразия и т. д.) другой (объект проектирования), при котором она функционально выделяется и включается отражающей системой в процесс управления, жизнедеятельности и практики. По мере возрастания количества информации снижается неопределенность в формировании познавательного образа.

Распознавание при проектировании — многоуровневый процесс. Он характеризуется последовательными этапами, на каждом из которых объект проектирования получает описание на языке признаков, образующее некоторое пространство. На каждом этапе это пространство сужается, и поэтому проектирование можно рассматривать как процесс последовательных приближений. Каждый этап характеризуется своим собственным оператором, содержащим анализ и синтез.

Подход к проектированию, как и к распознаванию, может вызвать возражение из-за кажущегося уменьшения роли творчества. Однако дело обстоит иначе. Во-первых, при проектировании распознается то, что еще не существует, но обладает определенными признаками, придающими ему общественную значимость и ценность, а это само по себе в прямом виде техническое творчество [61]. Во-вторых, процесс распознавания связан с логическим (математическим) преобразованием объектов в мышлении на основе переработки информации и отражением этих процессов в форме символов, а это само по себе творчество в познании. Сведение проектирования в русло распознавания имеет цель — направить творчество на создание не просто любых новых объектов техники, а лишь тех, которые обеспечивают наибольшую эффективность в достижении поставленных целей.

Стремление изучить процесс проектирования приводит к необходимости выяснить роль символов для формирования познавательных образов в актах творчества. Цитируем из [61]: «Символизация является способом опосредованного отражения действительности и вместе с тем своеобразным ориентиром, выражающим некоторые стороны динамики познавательных образов, стадии их формирования, намечающим новые пути подхода к исследуемым объектам».

Диалектика и логика символов позволяют установить связь между интуицией и логикой; между метафорическими образами и аналогиями, аллегориями, создаваемыми воображением и строгими научными понятиями.

Какие же особенности такой трудовой деятельности, как проектирование, вызывают потребность в символах? Прежде всего это необходимость передачи информации об объекте. Возникнув

первоначально на этой основе, символы в дальнейшем стали выступать как «орудие труда» и в процессе преобразования познавательного образа (модели). Графические изображения, находящиеся в изоморфном соответствии с объектом проектирования и несущие о нем полную информацию, называются иконическими знаками. К ним относятся чертежи рабочей документации. С оперированием со знаками связано проектирование на завершающих этапах — конструирование объекта.

На более высоком уровне символы уже не оказываются копиями проектируемого объекта, а обозначают его сущность, имея чувственно-наглядную форму. К таким символам можно отнести принципиальные и кинематические схемы, с которыми оперируют на этапах выбора параметров и режимов действия объекта, анализа принятого решения. Этапы проектирования еще более высокого уровня требуют использования символов с большей абстракцией. Кинематические схемы, хотя и отличаются от иконических знаков тем, что представляют абстрактные идеи и понятия, однако связаны с конкретным классом объектов. На этапе поиска решений и тем более определения целей проектирования необходимо обозначить всю область технических решений и ориентироваться в ней. Единственным средством выполнения этих этапов до недавнего времени был естественный язык. Сложившийся исторически в процессе длительного развития человеческого общества, он обладает огромной универсальностью. Более того, все знаковые системы формируются и интерпретируются на основе естественного языка. Однако эти универсальность и многозначность оказывают плохую услугу познавательной деятельности. Весьма интересна с этой точки зрения мысль, высказанная в работе [36]: «Если благодаря преимуществу знаков люди превосходят животных своими знаниями, то они и превосходят их также и своими заблуждениями, источником которых является несовершенство языка».

Язык проектирования, как и язык науки, призванный служить истинному познанию вещей, должен быть очищен от недостатков естественного языка. Потребность в создании искусственного языка проектирования диктуется в настоящее время и стремлением к широкому использованию ЭВМ. Под искусственным языком проектирования [38] понимается некоторая система записи сообщений об объективной действительности. К языку проектирования предъявляются следующие требования: недвусмысленность, т. е. каждая запись должна допускать однозначное толкование; удобство для формализации различных действий, связанных с хранением, передачей и преобразованием информации; универсальность при описании информации в пределах поставленных задач; гибкость, допускающая внесение отдельных изменений и дополнений без ущерба для общей методики и позволяющая учитывать специфические особенности

техники; целенаправленность и прикладной характер, т. е. отсутствие всякой избыточности; тесная связь с методикой проектирования; простота и доступность, позволяющие легко осваивать их специалистами средней квалификации; возможность механизации процессов кодирования.

Искусственный язык, отвечающий указанным требованиям, пока еще не создан, но имеются удачные попытки описания проектной информации на отдельных этапах проектирования.

Все искусственные языки строятся на основе естественных. В недрах последних возможны подязыки, фразы которых однозначны и при этом смысл каждой из них определяется только ее формой. Особенностью таких подязыков, называемых языком-объектом [38], является то, что на них нельзя говорить о них самих. Для их описания нужен другой язык, называемый метаязыком. Распространяя понятие предложения, как завершенную смысловую конструкцию, на любые языковые системы, разобьем метаязык на два языка, один из которых предназначен для описания структуры предложений языка-объекта, а другой — для описания их смысла. Первый называют метасинтаксическим, а второй — метасемантическим.

Описание структуры предложений языка-объекта выражает «внутрисистемную» природу значения знаков, отвлеченную от содержательного смысла. Описание на метасемантическом языке характеризует предметную область знака и его смысловое значение.

2.2. Проектирование и искусственный интеллект

Сформулировать определение искусственного интеллекта сложно даже специалистам в этой области знаний. Укажем лишь на то, что создание искусственного интеллекта связано с разработкой кибернетических моделей интеллектуальной деятельности. Посмотрим, какие же достижения в этой области знаний уже сейчас могут быть полезны для методики проектирования.

Проектированием или предварительным описанием будущего объекта как предмета труда человечество занимается со времени начала его сознательной деятельности. Если несколько расширить понятие проектирования, включив в него и выбор тех или иных действий, то можно утверждать — каждый человек занимается им ежедневно и не один раз. Широта использования такого поведенческого акта не остается без внимания специалистов, занимающихся разработкой искусственного интеллекта. Ими уже выделены некоторые процедуры, сопровождающие планирование и другие близкие к проектированию процессы.

Автоматизация призвана не только освободить человека от «бездумной» работы, но оказать ему помощь и там, где прояв-

ляется его сознательная деятельность. В этой связи достижения в области искусственного интеллекта могут быть весьма полезны и для САПР.

Среди всех операций проектирования можно выделить широкий класс алгоритмических, для которых уже созданы или могут быть созданы формальные модели. К ним относятся все расчеты, выполненные по ГОСТам: расчет деталей машины на прочность, надежность, а также кинематический и динамический анализы. Сюда же можно отнести и расчеты по частным методикам: расчет корпуса судна, усилий резания землеройными машинами и т. п. Однако алгоритмические операции и процедуры составляют лишь часть процесса проектирования. Кроме них в нем применяются и эвристические, отличающиеся от алгоритмических неопределенностью в постановке задачи, методе решения и в окончательном результате. К таким процедурам можно отнести, например, поиск вариантов технических решений, выбор из них оптимального. Эвристические процедуры чаще выполняются человеком, но могут быть реализованы и на ЭВМ по так называемым эвристическим программам.

Все процедуры по области их использования можно разделить на специальные, общетехнические и применяемые в любой области человеческой деятельности.

Третий тип процедур проектирования по содержанию можно отнести к метапроцедурам, играющим немаловажную роль и при создании систем искусственного интеллекта. Остановимся на некоторых из них. Начнем с декомпозиции. Она означает разделение задачи на подзадачи. В практике проектирования эта метапроцедура уже используется давно. Основная задача — разработка проектной документации, необходимой и достаточной для изготовления объекта — разбивается на подзадачи, составляющие стадии разработки: техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая документация. Каждая стадия разработки связана с определенным этапом проектирования.

Развитие методики приводит к дальнейшей декомпозиции задач, теперь уже на этапах.

Декомпозиция способствует тому, что на определенной ее ступени задачи переходят в разряд алгоритмических.

В этой связи уместно отметить одно из направлений изучения работы мозга, а именно изучение алгоритмов мыслительной деятельности.

Другой, не менее важной для проектирования метапроцедурой можно считать целенаправленный поиск в лабиринте возможностей. Под лабиринтом возможностей с позиций проектирования следует понимать возможные варианты технических решений. Целенаправленный поиск должен сократить путь в лабиринте к достижению поставленной цели. Одной из реализаций

этой метапроцедуры в области разработки систем искусственного интеллекта является «Общий решатель задач», предложенный А. Ньюэллом, Дж. Шоу и Г. Саймоном. В названии подчеркивается универсальность процедуры. Авторы полагают, что «Общий решатель задач» сможет справиться с любой задачей, если начальные условия и цели будут сформулированы на доступном ему языке. «Общий решатель задач» по своей постановке сводится к следующему. Имеется множество различных объектов (x_i) и к ним можно применить m различных преобразований (d_j). Если к объекту x_i применено преобразование d_j , то в результате образуется новый объект x_k , в частном случае совпадающий с исходным. На множестве объектов введено понятие различия, образующее множество ($r_1, r_2, \dots, r_q$). Для каждой пары объектов x_i, x_k можно установить, какими различиями они обладают. Работа программы «Общего решателя задач» состоит в выборе исходного объекта x_i , применении к нему случайным образом выбранного преобразования и сравнении полученного объекта с целевым, заранее заданным программе своими признаками. Если между этими объектами различий нет, то задача решена, в противном случае применяется новое преобразование из числа тех, которые способны устранить имеющиеся различия. Основным инструментом «Общего решателя задач» можно считать таблицу различий. Она содержит столько столбцов, сколько выделено различий между объектом, и столько строк, сколько предусмотрено преобразований. Ячейки на пересечении строк и столбцов помечаются через знак «+», который означает, что соответствующее преобразование способно полностью устранить или уменьшить различие между целевым объектом и рассматриваемым. В дальнейшем увидим, что некоторые эвристические приемы проектирования используют основную концепцию «Общего решателя задач».

Небезынтересна для методики проектирования метапроцедура построения лабиринта. Она заключается в следующем. Каждое решение находится в определенном лабиринте возможностей. Если же в нем не отыскивается нужного варианта, то строится новый лабиринт. Так, если при разработке технического решения внутри определенной области, характеризуемой принципом действия, не находят удовлетворительного варианта, то переходят в другую область принципов действия, в новый лабиринт и там отыскивают решение.

Заслуживает внимания и направление работ, называемое семиотическим моделированием [46]. В память ЭВМ в форме базы данных закладываются основные понятия и конструкции из них, используемые в процессе проектирования, создавая тем самым базу знаний. Семиотические программы должны реализовать специальную систему управления комплексом фиксированных знаний и обеспечить возможность логического вывода.

В основу разработки таких программ может быть положена гипотеза о наличии в каждой области интеллектуальной деятельности некоторых инвариантных структур, называемых фреймами. Если фрейм наполнить конкретными объектами, то образуется определенная композиция. Казалось бы, что такой путь наиболее близок к автоматизации процессов проектирования. Однако возникает большое препятствие — как вскрыть фреймы? Как найти наиболее оптимальный из них?

Трудности моделирования интеллектуальной деятельности породили среди некоторых специалистов сомнения в возможности использования ЭВМ на начальных (наиболее творческих) этапах проектирования. И это не без оснований. Не приведет ли формализация к сужению области поиска вариантов технических решений? Сможет ли ЭВМ создавать технические решения на уровне крупных изобретений?

Опираясь на мнение специалистов в области искусственного интеллекта [30], можно утверждать, что программы, построенные на основе уже разработанных методов, способны создавать технические решения на уровне подавляющего большинства зарегистрированных изобретений, лишь совершенствующих известное устройство, способы или вещество.

Дискуссии по поводу развития автоматизированного проектирования обычно заканчиваются общим мнением о необходимости построения абстрактной теории проектирования, способной определить оптимальное сочетание машинных и человеческих операций и процедур в этом процессе.

2.3. Основные понятия и принципы методологии проектирования

Любая научная дисциплина должна достаточно четко определить предмет своих исследований, основные понятия и принципы.

Методология проектирования объединяет два понятия: методология и проектирование. Методология вообще есть учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности. Под проектированием, как уже отмечалось, понимается процесс составления описания, необходимого для создания еще не существующего объекта. На этой основе методологию проектирования можно определить как учение о структуре, логической организации, методах и средствах составления описания, необходимого для создания еще не существующего объекта.

Уточним приведенное определение в части понятия проектирования. ГОСТ 22487—77 указывает, что описание составляется путем преобразования первичного описания, оптимизации заданных характеристик объекта или алгоритма его функциони-

рования, устранения некорректности первичного описания и последовательного его представления (при необходимости) на различных языках. В определении нужно дополнительно отразить целенаправленность проектирования на удовлетворение определенной потребности и особые его процедуры, предшествующие составлению описания и относящиеся к творческим актам поиска и принятия решений.

С учетом дополнений под **методологией проектирования** будем понимать учение о структуре, логической организации, методах и средствах поиска и принятия решений о принципе действия и составе еще не существующего объекта, наилучшим образом удовлетворяющего определенным потребностям, а также составление описания, необходимого для его создания в заданных условиях.

Остановимся на некоторых основных понятиях в соответствии с ГОСТ 22487—77.

Проектное решение — это промежуточное или конечное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончания проектирования.

Алгоритм проектирования — совокупность предписаний, необходимых для выполнения проектирования.

Язык проектирования — язык, предназначенный для представления и преобразования описаний при проектировании.

Проектная процедура — совокупность действий, выполнение которых оканчивается проектным решением.

Проектная операция — действие или совокупность действий, составляющих часть проектной процедуры, алгоритм которых остается неизменным для ряда проектных процедур.

Охарактеризуем особенность современных методов проектирования.

Сложность технических объектов, состоящих из многочисленных, по-разному взаимодействующих друг с другом и окружающей средой частей и объектов, требует системного подхода, т. е., по выражению В. И. Ленина, охвата всех их сторон, всех связей и «опосредований»¹. При этом вся человеческая практика должна войти в полное «определение» объекта проектирования и как критерий истины, и как практический определитель связи с тем, что нужно человеку.

Сложность современных объектов вызывает и сложность задачи проектирования. Они не могут быть решены сразу прямым замыканием входной информации на постоянную концептуальную модель действительности, а требуют развернутого во времени сложного информационного поиска. В этих условиях об-

¹ См.: Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 42. С. 290.

шая задача распадается на подзадачи, т. е. происходит ее декомпозиция, о чем говорилось в предыдущем разделе.

Множественность путей достижения целей проектирования требует рассмотрения не одного, а многих вариантов технического решения, к каждому из которых применяются определенные методы анализа и оценки. Повторное применение методов или алгоритмов проектирования характеризует еще одну его особенность, называемую итеративностью.

Современные методы проектирования должны быть ориентированы на широкое использование ЭВМ, не исключая человека при решении наиболее сложных и творческих задач. Такую особенность называют эргатичностью, подразумевая разумное сочетание формализованных (машинных) и неформализованных (человеческих) процедур в процессе проектирования.

Сформулируем основные задачи методологии проектирования с учетом приведенных особенностей изучаемых ею методов.

Декомпозиция требует логической схемы последовательности действий, наилучшим образом организующей процесс проектирования.

Построение такой схемы будем считать первой задачей методологии проектирования.

Стремление к широкому использованию ЭВМ требует формализации процедур, а это, в свою очередь, требует составления математической модели как процесса, так и объекта проектирования.

Разработка математических моделей составляет вторую, а методы и алгоритмы выполнения проектных процедур и операций — третью задачу методологии.

И еще об одной задаче. Она не вытекает непосредственно из всего ранее изложенного, стоит как бы в стороне, но не теряет от этого своей важности. Речь идет о выборе стадий разработки объекта проектирования.

Известно, что ЕСКД предусматривает следующие стадии: техническое задание; техническое предложение; эскизный проект; технический проект; рабочая документация. ГОСТ не обязывает выполнение всех стадий. В практике каждой проектной организации установилась традиционная стадийность. Однако она зачастую не отвечает возросшей сложности объектов проектирования. Выбор стадий разработки должен быть более гибким и устанавливаться обоснованно, а не традиционно.

Чаще всего выполняют техническое задание, технический проект и рабочую документацию, опуская техническое предложение и эскизный проект. К чему это может привести? Невыполнение работ, предусмотренных техническим предложением, а именно технического и технико-экономического обоснования целесообразности проектирования, выбора различных вариантов возможных решений, сравнительной оценки решений может при-

вести к тому, что в основу разработки ляжет не лучшее техническое решение. Невыполнение эскизного проекта может привести к выбору неоптимальных параметров объекта.

С другой стороны, излишняя стадийность связана с непроизводительным расходом времени и трудовых ресурсов. Проблема состоит в том, чтобы научиться обоснованно выбирать стадии разработки с учетом сложности объекта, степени его новизны, последствий возможных ошибок при проектировании.

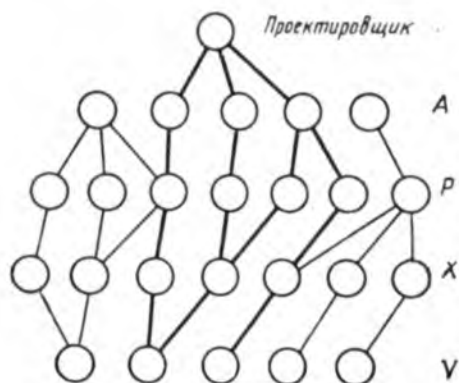


Рис. 1. Схема основных компонентов проектирования

Как всякая, действительная научная дисциплина методология проектирования должна содержать основную концепцию, на которой воздвигается все ее сооружение. Попытаемся сформулировать эту концепцию.

Рассмотрение проектирования с позиций марксистско-ленинской теории отражения позволило отнести этот процесс с распознаванию объекта, наилучшим образом отвечающего поставленным целям.

Для образности представим: все, что нужно человеку, уже создано и находится на складе. Содержащиеся в нем объекты классифицированы по признакам: функциональным, конструктивным, качественным и др. Обращаясь на склад, человек должен осознать свои цели, сопоставить их с признаками и по ним отыскать необходимый ему объект. Можно предположить, что таких объектов окажется более одного (отсутствие объекта исключается по начальным условиям). В этом случае человек отбирает такой из них, который в наибольшей степени отвечает поставленным целям. При этом он руководствуется некоторой шкалой оценок.

Распространив такой поведенческий акт на проектирование, определим его основные компоненты:

- A — множество целей;
- P — множество признаков;
- X — множество технических решений;
- Y — множество оценок.

На рис. 1 показана схема основных компонентов проектирования. Она представляет собой граф с вершинами, означающими элементы множеств целей, признаков, технических решений и оценок, и с ребрами, отображающими отношения между элементами.

Пользуясь языком теории множеств, проектирование технической системы можно связать с отображением на множество оценок среза произведения бинарных отношений множества целей и множества признаков; множества признаков и множества технических решений.

Обозначим через:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ — множество целей;

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ — множество признаков;

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ — множество технических решений;

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_l\}$ — множество оценок.

Тогда функция проектирования может быть выражена так:

$$F: (\psi \circ \varphi (A_0)) \rightarrow V, \quad (1)$$

где φ — бинарное отношение между элементами множеств A и P ; ψ — бинарное отношение между элементами множеств P и X . При этом $\varphi \subset (A \times P)$; $\psi \subset (P \times X)$; $A_0 \subset A$.

Установить бинарные отношения φ и ψ — означает указать на те упорядоченные пары декартова произведения, которые находятся в отношении φ и ψ соответственно.

Бинарное отношение между множествами A и P при проектировании означает быть средством к достижению цели, а бинарное отношение между P и X — отвечать признаку. Поскольку каждой цели могут соответствовать несколько признаков, то подмножество P_i , с которым a_i находится в отношении φ , является срезом через элемент a_i .

Если для проектирования конкретного объекта выбрано подмножество A_0 множества целей A , то можно найти срез через A_0 :

$$\varphi(A_0) = \{ (p) (\forall a) [a \in A_0 \wedge (a, p) \in \varphi] \}. \quad (2)$$

Аналогично найдем

$$\psi(A_0) = \{ (x) (\forall p) [p \in P_0 \wedge (p, x) \in \psi] \}, \quad (3)$$

где P_0 — срез множества P по подмножеству A_0 .

Произведение бинарных отношений

$$\psi \circ \varphi = \{ (a, x) (\forall p) [(a, p) \in \varphi \wedge (p, x) \in \psi] \} \quad (4)$$

представляет собой множество упорядоченных пар (a, x) , имеющих элемент p множества P , с которым a находится в отношении φ , а сам он вступает в отношение ψ с элементом x .

Срез произведения по подмножеству A_0 выражается так:

$$\psi \circ \varphi (A_0) = \{ (a, x) (\forall p) [(a, p) \in \varphi \wedge (p, x) \in \psi \wedge a \in A_0] \}. \quad (5)$$

Отображение среза произведения бинарных отношений на множество оценок означает функцию, определенную на множестве $\psi \circ \varphi (A_0)$ и принимающую значение на множестве V . Каж-

дый элемент множества V при этом представляет собой в общем случае n -мерный вектор, компонентами которого являются стоимостные характеристики, характеристики полезности и др.

Выражение (1) можно рассматривать как целевую функцию проектирования, которую в результате выполнения определенных операций необходимо оптимизировать:

$$(F : (\psi \circ \varphi (A_0)) \rightarrow V) \rightarrow \text{opt}. \quad (6)$$

2.4. Процедурная модель проектирования

Логическая схема проектирования представлена процедурной моделью. Она реализует системный подход к этому процессу и является результатом обобщения целого ряда работ [1, 7, 12, 15, 23, 24, 26, 28, 37, 44, 57, 65, 67]. В основе процедурной модели проектирования лежат этапы, характерные для трудовой деятельности с отсроченной реализацией. Она дает наглядное представление об основных процедурах и операциях проектирования, задачах и методах их решения, указывает на источники информации. Модель (рис. 2) согласуется со стадиями разработки согласно ЕСКД, а выпуск тех или иных видов технической документации представлен как результат соответствующих проектных процедур.

Проектирование начинается с определения потребности в создании нового изделия, которая чаще всего диктуется состоянием общественного производства и отражается в перспективных планах партии и правительства. Внутри предприятия она может быть вызвана стремлением к повышению производительности труда или к устранению ручных операций. Инженер, постоянно наблюдающий за состоянием производства, своевременно ощущает ситуацию, препятствующую повышению производительности труда. Это вызывает у него стремление к устранению препятствия. Если возникшая ситуация хорошо знакома, то он может сразу принять решение и перейти к его реализации. Однако значительно чаще инженер не может сразу найти решение, лучшим образом удовлетворяющее возникшую потребность. Тогда он прибегает к развернутому во времени сложному информационному процессу, т. е. проектированию. Поиск может быть тогда удачным, когда имеется ясное представление о его цели.

Определение цели проектирования — весьма ответственная процедура. Во многих случаях результат разработки объектов новой техники оказывается неудовлетворительным из-за неправильной или неточной формулировки целей.

Основная задача процедуры выбора целей — распознать в общих чертах объект проектирования и его окружение. Какой-либо четкой методики решения нет. Определенным образом

организует решение задачи составление сценария и построение графа целей. Источником информации для выполнения процедуры являются прогнозы развития самого объекта проектирования и его окружения. Весьма удобный аппарат для анализа и

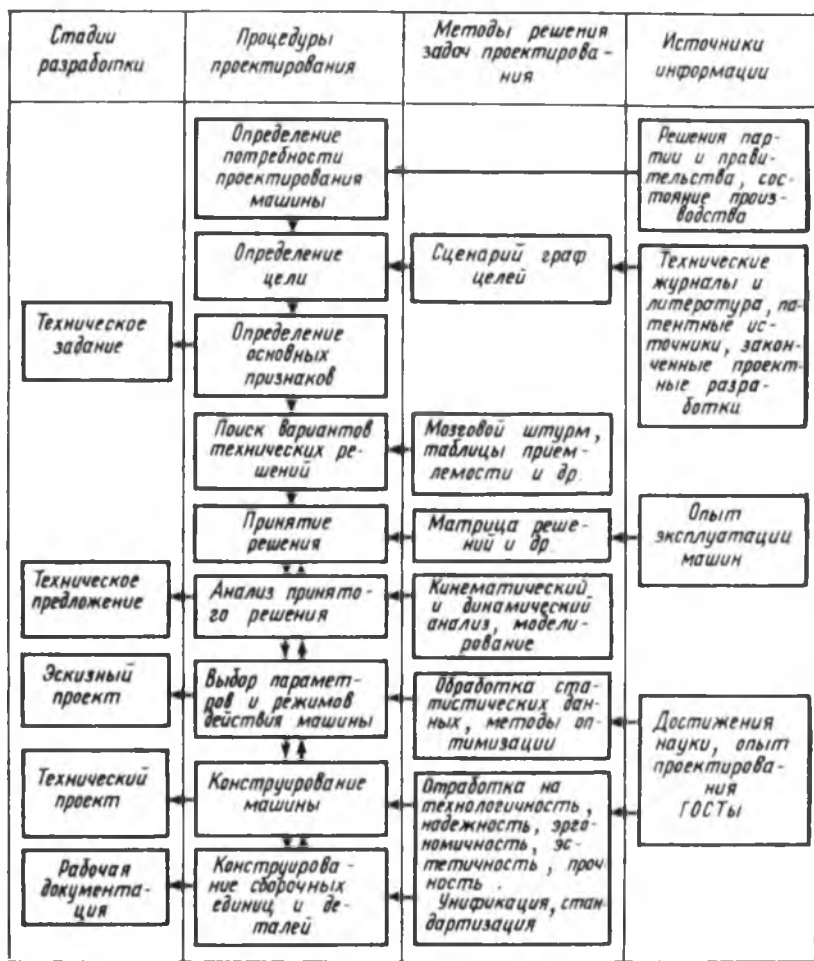


Рис. 2. Процедурная модель проектирования

синтеза информации представляет инженерное прогнозирование. Оно способно ответить на следующие вопросы: какие инженерные направления займут лидирующее положение в технике; каковы возможные пропорции внедрения в практику конкурирующих направлений; какова вероятность использования в буду-

шем тех или иных направлений; какова предполагаемая эффективность реализации технических направлений и, кроме того, когда можно ожидать внедрение в производство отдельных технических решений и целых направлений. Прогнозирование становится особенно важным сейчас, в эпоху бурного развития науки и техники. Выбирая, например, тот или иной способ воздействия на среду, как основу для создания новой машины, конструктор должен помнить, что на проектирование и внедрение в производство его разработки уйдет не менее 5 лет (речь идет о серийном изготовлении). За этот срок могут произойти существенные изменения в науке и технике, может оказаться, что выбранное направление перестанет отвечать научно-техническому прогрессу и созданная машина с первых дней своей жизни морально устареет. Чтобы избежать такого положения, нужно предвидеть развитие тех или иных технических направлений. На стадии определения целей уже может возникнуть то или иное техническое решение. Однако опытный конструктор не торопится с его реализацией. Он знает, что это решение далеко не единственное.

После выбора целей проектирования можно приступить к процедуре определения основных признаков объекта. Согласно основной концепции методологии эта процедура состоит в построении среза бинарных отношений между элементами множества целей и множества признаков по выбранному подмножеству целей.

Подмножества целей и признаков включаются в техническое задание.

Процедура поиска возможных решений напоминает формирование оперативных моделей в сознании человека. Она в наибольшей степени опирается на творческие начала и выполняется чаще неформальными методами, однако уже сейчас имеются попытки [23] разрабатывать варианты технического решения с помощью ЭВМ. В дальнейшем будут показаны приемы, организующие творческий поиск. Основные источники информации: техническая литература и журналы, авторские свидетельства и патенты.

На следующем этапе проектирования выполняется процедура принятия решения. Из множества вариантов необходимо выбрать лучший по показателю или показателям, устанавливающим соответствие технического решения ранее определенным целям. Принятие решения уже сейчас формализовано в значительно большей степени, чем предыдущие процедуры, хотя и содержит ряд задач, решаемых эвристическим методом. Для сравнения вариантов, не содержащих параметрическую информацию, можно применять матрицу решений [66] и генеральную определительную таблицу [21]. На окончательном этапе принятия решения используется экономический расчет.

Основным источником информации для сравнения вариантов служит опыт использования существующих однотипных изделий. Весьма полезную информацию для выполнения процедуры несет развивающаяся теория принятия решений.

Отобрав из всех возможных вариантов один, конструктор должен тщательно проверить его на работоспособность и возможность технического воплощения. Эта процедура может быть названа анализом принятого решения. Методами решения задач на данном этапе проектирования выступают: кинематический и динамический анализ, моделирование. Может случиться, что выбранный вариант не удовлетворяет условиям работоспособности или не может найти в современных условиях технического воплощения. В таком случае нужно вновь вернуться к этапу принятия решения, отобрать другой вариант и произвести его анализ. На схеме процедурной модели это отражено стрелкой, идущей вверх. Окончательным оформлением принятого решения является техническое предложение.

Любое, даже самое передовое техническое решение окажется бесплодным, если не получит технического воплощения. Прогресс техники направлен на повышение производительности труда, поэтому каждая новая машина оказывается, как правило, более производительной, но не всякая новая машина оказывается более надежной. Вызывается это неудачным конструированием, неправильным выбором параметров. Современная машина выступает как единый агрегат, отдельные узлы которого находятся во взаимодействии. Так, например, вибрационное воздействие рабочего органа передается не только на обрабатываемую среду, но и на раму машины, на ходовое и силовое оборудование, на систему управления, ухудшая условия работы этих узлов. Стремление к полному устранению вредного воздействия на все узлы может, однако, привести к существенному удорожанию машины. Удачная машина представляет собой оптимальное сочетание параметров всех ее узлов. Выбор параметров, связанный с компромиссом внутри противоречивых факторов, протекает в условиях действия всемирного закона марксистско-ленинской диалектики — закона единства и борьбы противоположностей. Выбор параметров можно отнести к классу задач, которые носят название экстремальных. Тот или иной критерий качества, улучшение которого составляет цель проектирования, выбирается главным и представляется в виде функции, подлежащей максимизации или минимизации. Аргументами этой функции служат параметры машины. Область их допустимых значений ограничивается некоторым подмножеством. Решить поставленную таким образом задачу значит найти такие значения аргументов из заданного подмножества, при которых целевая функция получает экстремальное значение. По результатам процедуры выбора параметров может быть состав-

лен эскизный проект. Он представляет собой совокупность конструкторских документов, дающих представление в общих чертах о принципе работы машины.

Получив данные о параметрах машины, приступают к ее конструированию. Успешное выполнение этого этапа зависит как от опыта конструктора, так и от его умения использовать знания, полученные из таких наук, как «Детали машин», на основе которой производятся прочностные расчеты; «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», определяющие требования к характеру и точности типовых соединений в машинах на основе эксплуатационного назначения, методы расчетно-опытного обеспечения прочности, физико-технические и экономические предпосылки систем допусков и посадок, построение и применение этих систем в комплексе с техническими измерениями, метрологические обоснования качества продукции; «Надежность машин», дающая возможность оценить такие свойства будущего объекта новой техники, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость; «Эргономика», характеризующая систему «человек — машина — среда» с учетом антропометрических, гигиенических, психофизиологических и психологических свойств человека; «Техническая эстетика», формирующая методы достижения выразительности, оригинальности, гармоничности и целостности форм машины; «Охрана труда», определяющая систему мероприятий по обеспечению безопасных для жизни и здоровья условий труда обслуживающего персонала; «Квалиметрия», определяющая теоретические основы количественной оценки качества продукции. Завершенная проектная разработка оформляется в виде технического проекта и рабочей документации, состав и содержание которых предусмотрены ЕСКД. При выполнении всех этих работ нужно постоянно помнить о весьма важном обстоятельстве в любой трудовой деятельности — контроле за исполнением принятого решения. В отличие от физической работы, когда человек имеет непосредственный контакт с предметом труда, при проектировании конструктор соприкасается лишь с изображением этого предмета. В процессе своей работы он может допускать ошибки, смысл которых нередко оказывается скрытым до окончания технического воплощения проектируемого устройства при его испытании, а иногда и значительно позже. Поэтому в контроль за результативностью исполнения принятого решения вкладывается более широкий смысл. Помимо обычной проверки чертежей следует практиковать анализ возможных ошибок, когда конструктор мысленно «переживает» поведение машины или ее части в тех или иных ситуациях. Чем более широк этот анализ, т. е. чем больше ситуаций может «пережить» конструктор и устранить обнаруженные ошибки, тем в большей степени можно рассчитывать на успех в работе проектируемого устройства.

В завершении раздела отметим, что приведенная процедурная модель отражает проектирование принципиально нового объекта. В том же случае, когда он представляет собой элемент внутри типоразмерного ряда, нет необходимости выполнять все эти этапы проектирования, а начинать следует сразу с выбора параметров.

2.5. Математическая модель объекта проектирования

Распознавание при проектировании сложных систем является многоуровневым процессом. Он характеризуется последовательными этапами, предусмотренными процедурной моделью, на каждом из которых проектируемая система получает описание на языке признаков, образующее некоторое пространство. На каждом этапе область признакового пространства сужается за счет конкретизации описания структуры элементов объекта и их параметров. В этой связи описание объекта проектирования можно назвать стратифицированным [51], развивающимся от «сжатого» на этапах верхнего уровня процедурной модели до развернутого на нижних.

Для использования ЭВМ описание объекта проектирования должно носить характер математических моделей.

Для любой ситуации принятия решений [45] они представляют собой множество соотношений, связывающих управляющие воздействия (переменные, значения которых выбираются лицом, принимающим решение) и параметры рассматриваемой задачи с выходными переменными (переменные, зависящие от выбора управляющих воздействий).

В содержательном смысле описание объекта проектирования в форме математической модели должно содержать следующие компоненты и правила [51]:

- 1) A — цель функционирования;
- 2) $E\{e_i\}$; $i = \overline{1, N}$ — множество элементов, составляющих систему;
- 3) $T\{t_\tau\}$ — множество моментов времени;
- 4) $P_i\{p_j^i\}$; $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, T_i}$ — множество признаков, характеризующих систему в целом на всех этапах жизненного цикла;
- 5) $P_\tau\{p_t^\tau\}$ — множество признаков, характеризующих элементы на всех этапах жизненного цикла;
- 6) $S^\tau\{s_i^\tau\}$ — множество состояний элементов в рассматриваемый промежуток времени;
- 7) $H = S^\tau \times T$ — правило упорядочения смены состояний в ходе достижения цели;
- 8) $Q\{e_i, e_k\}$ — множество связей между всеми элементами системы;

9) $F: \{p\} = f_{\mu}(p^j)$ — математические схемы, описывающие отношения между признаками элементов и признаками систем;

10) $P_c\{p_c\}$ — множество признаков, определяющих взаимодействие системы со средой.

Система будет определена, если определены все перечисленные множества и правила 7 и 9.

Множество целей, признаков и элементов лучше всего представлять в виде графов.

Множество состояний включает определенный набор значений признаков системы, подсистемы или элементов в момент времени t_{τ} .

Отдельные элементы или вся система за рассматриваемое время $t_0 \dots t_k$ определенное число раз переходит из одного состояния в другое. Единственный переход составляет элементарную операцию

$$O_{m_{\tau}} = S^{\tau} \succ S^{\tau+1},$$

где S^{τ} — состояние; $O_{m_{\tau}}$ — элементарная операция; $\succ$ — знак отношения порядка.

Считается, что операция определена, если для нее указаны: начальное состояние S^n , конечное состояние S^k , порядок смены состояний системы, который может быть описан дифференциальным уравнением, конечными автоматами, вероятностными автоматами, цепями Маркова, булевыми функциями, функциями предикат.

Взаимодействие элементов определяется связями, которые соединяют элементы и признаки в целое. Обычно предполагают, что связи существуют между всеми элементами. В первую очередь рассматриваются те связи, которые по заданным правилам определяют процесс взаимодействия между элементами для достижения общей цели.

Множество связей между элементами (подсистемами), существующих при выполнении конкретных операций, составляет структуру системы в данной операции.

Воспользуется приведенными в работе [51] аксиомами:

Аксиома 1. Взаимодействие между элементами или подсистемами происходит по отдельным признакам. Конкретная связь может быть осуществлена только по одноименным признакам.

Аксиома 2. Между средствами (системами, подсистемами, элементами) Σ_n и Σ_k существует связь, если:

а) они характеризуются хотя бы одним одинаковым признаком;

б) если признаки имеют одинаковое значение или если изменение признака одного элемента приводит к изменению признака другого.

Аналитически связь между средствами Σ_n и Σ_k по признаку p_i может быть определена в виде функции предикат

$$g_i^{nk} = \begin{cases} 1, & \text{если } p_i^n = p_i^k; \\ 0, & \text{если } p_i^n \neq p_i^k, \text{ либо с учетом знака } (-1, 0, +1). \end{cases}$$

Процесс проектирования как переход от одного описания объекта к другому может быть выражен зависимостью

$$O_0 = \overline{O}P_1 \Rightarrow \overline{O}P_2 \Rightarrow \dots \overline{O}P_i,$$

где O_0 — означает процесс проектирования; $\overline{O}P_1, \overline{O}P_2, \dots, \overline{O}P_i$ — описание объекта проектирования на разных этапах его разработки.

Описание объекта проектирования, определяющее достигаемые с его созданием и использованием цели, назовем *целевым*:

$$\overline{O}P_1 = A_0 = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}.$$

Описание объекта проектирования, дающее представление о идее его технического решения, назовем *концептуальным*. Математические модели объекта при таком описании включают множество целей и множество признаков, характеризующих объект в целом на всех этапах его жизненного цикла:

$$\overline{O}P_2 = \{A_0, P_i\}.$$

Описание, дающее представление о функционировании объекта, назовем *функциональным*. Математические модели, относящиеся к этому описанию, содержат множество признаков, определяющих взаимодействие системы со средой P_c , правило упорядочения смены состояний в ходе достижения цели H :

$$\overline{O}P_3 = \{P_c, H, S^r\}.$$

Математические модели, относящиеся к структурному описанию системы, включают множество элементов, составляющих систему E ; множество признаков, характеризующих элементы на всех этапах жизненного цикла P_ξ ; множество связей между всеми элементами системы Q :

$$\overline{O}P_4 = \{E, P_\xi, Q\}.$$

Динамическое описание включает математические модели, построенные на множестве признаков, определяющих взаимодействие системы со средой P_c , на множестве моментов времени T и математических схемах, описывающих отношения между признаками элементов и признаками системы:

$$\overline{O}P_5 = \{P_c, T, F: (p_i^t = f_m(p_i^t))\}.$$

Описание, определяющее параметры объекта, назовем *параметрическим*. В его состав входит множество параметров:

$$\text{ОП}_0 = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}.$$

В данном параграфе рассмотрено общее представление об описании и математической модели объекта проектирования. В дальнейшем оно будет конкретизировано применительно к отдельным процедурам и операциям.

3. ПРОЦЕДУРЫ НА СТАДИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

3.1. Определение потребности проектирования

Проектирование технических систем обеспечивает создание объектов новой техники, призванной повысить производительность, улучшить условия труда, снизить стоимость совокупной общественной продукции. Как уже говорилось ранее, потребность в новых объектах техники связана с развитием производства и определяется в масштабах страны планами развития народного хозяйства, составляемых на пятилетку и более отдаленную перспективу. Внутри отдельного предприятия потребность в новой технике возникает в ходе совершенствования производства, его интенсификации. Однако потребность в новой технике не всегда связана с необходимостью проектирования. Во-первых, нужные объекты уже могут существовать; во-вторых, рационализация технологии может изменить потребность в технических средствах; в-третьих, если потребность связана с улучшением характеристик уже существующей техники, то ее удовлетворение должно дать народнохозяйственный эффект, так как в противном случае создание нового объекта нерационально. Всегда нужно помнить, что проектирование — сложный и трудоемкий процесс. Развертывать его следует лишь в тех случаях, когда без этого обойтись нельзя.

С учетом изложенного процедуру определения потребности в проектировании можно представить как решение задачи об установлении истинности сложного высказывания, заключающегося в следующем.

Технический объект нужно проектировать тогда, когда подобных объектов не существует и от него нельзя отказаться, когда затраты на проектирование, подготовку производства и изготовление окупаются в установленный срок и приносят положительный народнохозяйственный эффект.

Выделим из приведенного сложного высказывания элементарные:

$Y1$ — технический объект имеется в нашей стране;
 $Y2$ — технический объект имеется за рубежом;
 $Y3$ — можно отказаться от объекта;
 $Y4$ — от применения нового объекта достигается народнохозяйственный эффект;
 $Y5$ — можно приобрести объект за рубежом

Формула сложного высказывания, определяющая потребность в проектировании, имеет вид

$$Y = \overline{Y1} \wedge \overline{Y3} \wedge Y4 \wedge (\overline{Y5} \wedge Y2). \quad (7)$$

Область определения функции:

$$Y = (\text{FALSE}, \text{TRUE}),$$

где TRUE — проектировать нужно; FALSE — проектировать не нужно.

Определение истинности элементарных высказываний составляют отдельные операции. Часть из них ($Y1$, $Y2$) должна выполняться обращением к базе данных по существующим объектам данного класса.

Операция $Y3$ выполняется решением задачи, рассматривающей объект новой техники как подсистему или элемент системы более высокого уровня.

Операция $Y4$, определяющая достижения народнохозяйственного эффекта, строится на оценке прошлых и будущих затрат [6].

Воспользуемся обозначением:

Π_1 , I_1 , $\mathcal{E}_1$ — затраты по существующему объекту (аналогу) на проектирование, изготовление и эксплуатацию;

Π_2 , I_2 , $\mathcal{E}_2$ — то же, по новому объекту;

N — расчетный срок окупаемости затрат;

N_d — допустимый срок окупаемости затрат.

Выполнение операции $Y4$ заключается в установлении истинности функции

$$Y4 = \{((\Pi_2 + I_2 < \Pi_1 + I_1) \wedge (\mathcal{E}_2 < \mathcal{E}_1)) \vee \vee (((\Pi_1 + I_1) - (\Pi_2 + I_2)) > \mathcal{E}_2) \vee (N < N_d)\}.$$

Схема алгоритма операции $Y4$ представлена на рис. 3.

Операция, устанавливающая истинность высказываний $Y5$, выполняется по согласованию с вышестоящими организациями (Главк, Министерство, Госплан).

На рис. 4 представлены схемы алгоритма выполнения процедуры определения потребности в проектировании.

В качестве примера для иллюстрации процедур проектирования приведем разработку, выполненную студенческим конструкторским бюро кафедры «Строительные и дорожные машины

и оборудование» Ленинградского орденов Ленина и Октябрьской Революции института инженеров железнодорожного транспорта по заказу строительного треста в 1974—1975 гг. Давность разработки не должна смущать читателя. Спустя 15 лет можно судить о правильности принятого в свое время технического решения.

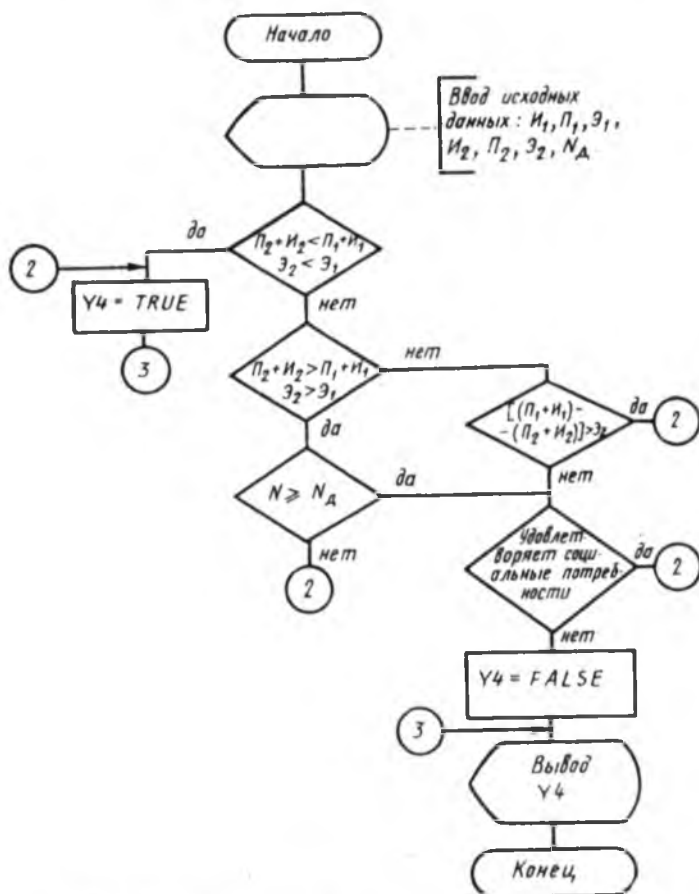


Рис. 3. Схема алгоритма выполнения операции Y4

Среди наиболее трудоемких работ в строительстве особое место занимает разработка мерзлых грунтов. Почти половина территории Советского Союза покрыта вечномерзлыми грунтами, а сезонное промерзание грунтов даже в районах Фрунзе, Алма-Аты, Ростова, Киева составляет в среднем 0,9 м. В настоящее время в нашей стране ежегодный объем разработки

грунта в мерзлом состоянии составляет 10—15% от общего объема земляных работ, однако затраты на выполнение работ в мерзлых грунтах оказываются больше, чем на производство всего объема работ в немерзлых грунтах. Создание эффективных способов и средств разработки мерзлых грунтов — важная народнохозяйственная проблема. Единая техническая политика ориентирует нашу промышленность на ускорение создания техники, воплощающей новейшие открытия и изобретения и дающей высокий экономический эффект. В производстве орудий труда предусматривается рост единичной мощности машин, переход от создания и внедрения отдельных машин к разработке систем машин, целиком охватывающих весь технологический процесс.

Строительный трест, обеспечивая выполнение строительных работ в Ленинграде, испытывал трудности при разработке мерзлых грунтов в ходе сооружения фундаментов в зимнее время. Имеющиеся машины — рыхлители, многоковшовые траншейные экскаваторы — не в состоянии обеспечить снижение трудоемкости и повышение производительности труда.

Установим истинность высказывания о необходимости проектирования объекта новой техники.

1. В нашей стране нет машин для разработки мерзлых грунтов в условиях городского строительства, обеспечивающих меньшую трудоемкость и большую производительность труда по сравнению с рыхлителями и многоковшовыми экскаваторами.

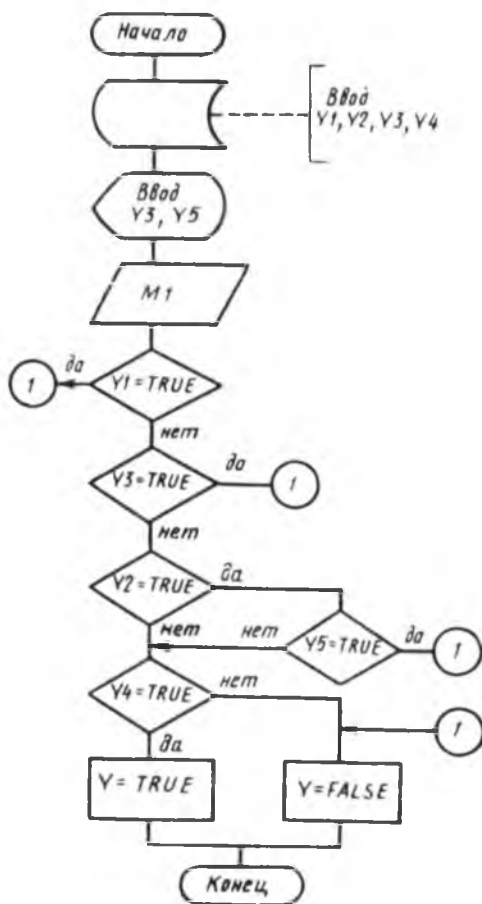


Рис. 4 Схема алгоритма выполнения процедуры определения потребности проектирования

На этом основании элементарное высказывание $Y1$ — технический объект имеется в нашей стране — принимает значение FALSE.

2. За рубежом дело обстоит так же, т. е.

$$Y2 = \text{FALSE}.$$

3. Анализ показал, что избежать выполнения земляных работ в зимнее время не удастся, так как строительные работы ведутся круглый год без снижения темпов. Предварительная подготовка территории в теплое время года к последующей разработке зимой (рыхление, засоление, утепление) связана с дополнительными трудозатратами и не дает положительного эффекта. От разработки объекта новой техники отказаться нельзя, т. е.

$$Y3 = \text{FALSE}.$$

4. Определим, можно ли ожидать достижения народнохозяйственного эффекта от внедрения объекта новой техники с учетом затрат на его проектирование, изготовление и эксплуатацию. Для этого нужно установить истинность функции предикат $Y4$. Не будем ожидать, что затраты на проектирование и изготовление объекта новой техники будут меньше аналогичных затрат на усовершенствование существующих машин для их более успешного использования ($P_2 + I_2 > P_1 + I_1$). Однако возможно снижение эксплуатационных расходов объекта новой техники по сравнению с существующей ($\mathcal{E}_2 < \mathcal{E}_1$).

Поскольку $P_2 + I_2 > P_1 + I_1$, то условия $((P_1 + I_1) - (P_2 + I_2)) > \mathcal{E}_2$ не выполняется. Ожидать народнохозяйственного эффекта от внедрения объекта новой техники можно лишь в случае, если $N < N_d$. Действительно, подставив значения истинности в функцию, найдем

$$Y4 = \{((P_2 + I_2 < P_1 + I_1) \wedge (\mathcal{E}_2 < \mathcal{E}_1)) \vee ((P_1 + I_1) - (P_2 + I_2) > \mathcal{E}_2) \vee (N < N_d)\} = \text{TRUE}.$$

5. В зарубежной практике используются рыхлители на базе более мощных тягачей по сравнению с отечественными. Однако приобрести их тресту не представилось возможным

$$(Y5 = \text{FALSE}).$$

Подставив истинность элементарных высказываний в формулу (7), найдем с учетом входящих в нее отрицаний:

$$Y = \frac{T}{Y1} \wedge \frac{T}{Y3} \wedge \frac{T}{Y4} \wedge \frac{\frac{T}{F} \frac{T}{F} \frac{T}{F}}{(Y5 \wedge Y2)} = \text{TRUE}.$$

Таким образом, в описанных условиях проектирование объекта новой техники рационально, если срок окупаемости связанных с ним затрат не превысит допустимый.

3.2. Определение целей проектирования

Как уже отмечалось, проектирование связано с формированием оперативной модели в сознании человека. Возможность формирования такой модели обеспечивается способностью человеческого мозга к опережающему отражению действительности. Построение оперативной модели тесно примыкает к распознаванию. Как в том, так и в другом случае имеется входная информация о признаках объекта, а на выходе — заключение о самом объекте. Разница между оперативной моделью в проектировании и распознаванием заключается лишь в том, что в первом случае самого объекта не существует, в то время как во втором он реален. Но несмотря на это, в обоих случаях дело имеет не с самим предметом, а с его признаками. Последние могут быть установлены и для еще несуществующего объекта. Так при проектировании той или иной машины мы на первых этапах не представляем себе, как она выглядит (какую имеет форму, размеры, тип рабочего органа), однако уже с самого начала известно, что она должна делать, известны ее ориентировочная производительность, стоимость и некоторые другие исходные данные. Кроме того, можно установить, в каких условиях она будет работать (климатические условия, квалификация обслуживающего персонала и другие факторы). Проектируемый объект окажется жизнеспособен, если он будет приспособлен к окружающей среде и к заданным ему функциям. Таким образом, окружающая среда и заданные функции являются теми признаками, с помощью которых можно распознать еще не существующий объект и тем самым составить оперативную модель. Задача осложняется тем, что проектируемый объект должен быть приспособлен к окружающей среде не в настоящем времени, а в будущем. В связи с этим распознавание объекта связано с прогнозированием. Здесь уместно обратиться к одному из приемов драматургии — приему составления сценария. Сценарий — сюжетная схема без литературного текста, по которой создается спектакль в театре, основанном на импровизации. Сценарий представляет собой краткое изложение со-

держания пьесы, в котором определены главные моменты действия. В работе [39] читаем: «Под сценарием в практике социально-экономического и научно-технического прогнозирования подразумевается обзор, содержащий данные относительно ситуации, внутри которой протекают конкретные процессы, являющиеся объектом прогноза. Эти данные относятся к самым различным сторонам прогнозируемой научно-технической, социальной и экономической ситуации и включают в себя описание отдельных факторов или событий, оказывающих прямое или косвенное влияние на реализацию конкретного события». Описать



Рис. 5. Факторы окружения объекта проектирования

ситуацию, внутри которой будет протекать работа проектируемого объекта, это означает установить факторы его непосредственного и косвенного окружения. К непосредственному окружению надо отнести окружающую среду, внутри которой будет обитать объект. К косвенному окружению следует отнести факторы, определенные научно-технической, экономической и социальной ситуациями. Перечисленные факторы окружения представлены на рис. 5.

Разработка сценария сродни с формированием порождающей среды [55]. На первом этапе составления сценария формируются самые общие представления о проектируемом объекте и потому взаимное влияние факторов можно не учитывать. Здесь по существу происходит лишь выявление признаков ситуации, причем следует начинать с самых простых и очевидных, переходя затем к более сложным и менее очевидным. Выявление факторов окружения подобно эмпатии (вживанию в роль). Проектировщик ставит себя на место будущего технического устройства и осматривается. Вначале составляется перечень факторов, а затем по ходу описания могут быть вскрыты новые факторы окружения. Составлять сценарий следует при проектировании нового изделия. После его освоения необходимо периодически

вносить изменения в первоначальный сценарий для определения потребности в совершенствовании изделия, расширения или сокращения объема его производства.

Описание факторов окружения начинается с изложения существующего положения и заканчивается прогнозом на будущее. Рассматривая каждый фактор как объект прогнозирования, следует подобрать к нему наиболее соответствующий метод прогнозирования. Воспользуемся классификацией, приведенной в [39].

Классификация проводится по шести признакам:

1. По природе объекта прогнозирования:

а) *научно-технические* (развитие фундаментальных и прикладных исследований, развитие техники, новые виды техники, технические характеристики, изобретения и открытия в области науки и техники, новые материалы, технология);

б) *техничко-экономические* (экономика народного хозяйства по отраслям, развитие и размещение производства, промышленные предприятия, технико-экономические показатели производства продукции, организационно-экономические системы управления, освоение новых видов продукции, финансирование производства);

в) *социально-экономические* (демография, трудовые ресурсы, размещение производительных сил, образование, национальный доход, спрос, потребление);

г) *военно-политические* (международные отношения, опасные зоны, военный потенциал, стратегический курс, военные конфликты);

д) *естественно-природные* (погода, окружающая среда, природные ресурсы).

2. По масштабности объекта прогнозирования, определяемой числом переменных, входящих в полное описание объекта:

а) *сублокальные* — с числом значащих переменных 1...3 (производственная функция, траектория движения в трехмерном пространстве, рабочее место);

б) *локальные* — с числом значащих переменных 4...14 (производственный участок, материал, несложное техническое устройство);

в) *субглобальные* — с числом переменных 15...35 (цех, спрос на продукцию предприятия с соответствующей номенклатурой);

г) *глобальные* — с числом переменных 36...100 (предприятия, техническая система типа «станок — агрегат», транспортная сеть региона);

д) *суперглобальные* — с числом переменных свыше 100 (отрасль, крупное предприятие, большая техническая система).

3. По степени взаимозаменяемости значащих переменных в их описании:

а) *сверхпростые* (объекты с отсутствием существенных взаимосвязей между переменными);

б) *простые* (объекты, в описании которых содержатся парные связи);

в) *сложные* (объекты, в описании которых содержатся парные и множественные связи);

г) *сверхсложные* (объекты, в описании которых нужно учитывать взаимосвязи всех значащих переменных).

4. По степени детерминированности:

а) *детерминированные* (объекты, в характеристиках которых случайная составляющая несущественна);

б) *стохастические* (объекты, в описании которых необходим учет случайной составляющей переменных);

в) *случайные* (имеющие как детерминированные, так и стохастические характеристики).

5. По характеру развития во времени:

а) *дискретные* (характеристики изменяются скачками);

б) *апериодические* (характеристики изменяются в виде апериодической непрерывной функции);

в) *циклические* (характеристики изменяются в виде периодической непрерывной функции).

6. По степени информационной обеспеченности:

а) объекты с *достаточной* количественной ретроспективной информацией;

б) объекты с *недостаточной* для обеспечения заданной точности прогнозирования количественной ретроспективной информацией;

в) объекты, имеющие лишь *качественную* ретроспективную информацию;

г) объекты с *полным отсутствием* ретроспективной информации.

В отечественной и зарубежной практике можно насчитать свыше ста методов прогнозирования. В настоящее время не разработаны да и вряд ли будут разработаны в дальнейшем какие-либо рекомендации для однозначного выбора метода прогнозирования. Можно лишь ограничить ориентировочно область применения того или иного метода. В табл. 1 представлены наиболее распространенные методы прогнозирования и позиции по шести классификационным признакам, характеризующим объект.

Приступая к прогнозированию, необходимо вначале отыскать позиции, относящиеся к объекту по всем классификационным признакам, а затем подобрать метод, охватывающий возможно большее число характеризующих объект позиций.

Классификация методов прогнозирования

Методы прогнозирования	Классификационные признаки объекта					
	1	2	3	4	5	6
Математическая подгонка полиномами	а, б, в, д	а—д	а, б	а	б, в	а, б
Экстраполяция по элементарным функциям	а, б, в, д	а—д	а, б	а, б	б, в	а, б
Экстраполяция с дисконтированием	а, б, в	а—д	а, б	в, г	а, б	а
Функции с гибкой структурой	а, б	а—д	а, б	а, б, г	б, в	а
Экстраполяция по огибающим кривым	а	а	а	б	а, б	а
Авторегрессионные модели	а, б, в, д	а—д	а	б	б, в	а
Парные регрессии	а, б, в, д	а	б	б	б, в	а, б
Множественные регрессии	а, б, в, д	б—д	в, г	б	б, в	а, б
Компонентный анализ	а, б, в, д	в, г, д	в, г	б	б, в	а
Экстраполяция факторов	а, б, в, д	в, г, д	в, г	б	б	а
Биологические модели роста	а, б	а	а	а, л	б	б
Биолого-технические аналогии	а	а	а, б	а, б	б, в	б
Экономические аналогии по опережающей стране	б	а, б	а—г	а, б, в	а, б, в	а, б, в
Технические прогнозы по опережающей области	а	а, б	а—г	а, б, в	а, б, в	а, б, в
Анализ динамики патентования	а	а, б	б	б	а, б, в	а, б, в
Публикационные методы	а	а, б, в	б, в, г	б, в	а, б, в	а, б
Цитатно-индексные методы	а, б	а, б, в	б, в, г	б, в	б, в	а, б
Коэффициент полноты и уровня техники	а, б	а, б	а—г	а, б, в	а, б, в	а, б, в
Индивидуальный экспертный опрос	а—г	а, б	а—г	а, б, в	а, б, в	а, б, в
Коллективный экспертный опрос	а—г	а, б, в	а—г	а, б, в	а, б, в	б, в, г
Историко-логический анализ	б, в, г	а, б	а—г	а, б, в	а, б, в	б, в
Экспертные комиссии	а—г	а, б	б, в, г	а, б, в	а, б, в	б, в, г
Морфологический анализ	а, б	а, б	а—г	а, б, в	а, б, в	в, г
Синоптическая модель	а, б, в	а, б, в	а—г	а, б, в	а, б, в	б, в, г
Метод «Дельфи»	а, б, в	а, б	а—г	а, б, в	а, б, в	б, в, г
Метод звристического прогнозирования	а, б, в	а, б, в	а—г	а, б, в	а, б, в	б, в, г

Методы прогнозирования	Классификационные признаки объекта					
	1	2	3	4	5	6
Коллективная генерация идей	а—г	а	а—г	б, в	а	в, г
Деструктивная отнесенная оценка	а—г	а	а—г	б, в	а	в, г
Динамический концептуальный анализ	а, б, в	а, б, в	в, г	б, в	а	в, г
Политические игры	г	а, б	в, г	б, в	а	в, г
Экономические игровые модели	б	а, б	б, в, г	б, в	а, б, в	б, в, г

Введем понятие коэффициента общности метода прогнозирования

$$K_{\text{общ}} = \frac{\sigma}{\Sigma},$$

где σ — количество позиций по всем признакам, охватываемых методом прогнозирования; Σ — общее количество позиций по всем признакам.

Наибольшим коэффициентом общности обладает метод коллективного экспертного опроса (20 позиций из 24). Нужно отметить, что и все методы, имеющие отношение к опросу экспертов, обладают высоким значением этого показателя. Из других методов прогнозирования, обладающих высокой универсальностью (по коэффициенту общности), выделяется метод «Дельфи» и морфологический анализ.

Среди всех приведенных методов определенную группу объединяет инженерное прогнозирование. Оно опирается на информацию, содержащуюся в законченных проектных и научно-исследовательских разработках, в патентах и авторских свидетельствах. Согласно [21] под инженерным прогнозированием понимается научно обоснованная информация, отражающая в вероятностной постановке потенциальные возможности развития техники. На рис. 6 представлены источники информации, размещенные на определенных уровнях, и временные периоды прогнозирования. Инженерное прогнозирование распространяется на период не свыше 15 лет. На его основе можно получить ответы на следующие вопросы:

- какие направления займут лидирующее положение в технике;
- каковы возможные пропорции внедрения в практику конкурирующих направлений;
- какова вероятность использования техники;
- какова предполагаемая экономическая эффективность реализации технических направлений;

когда можно ожидать внедрение в производство объектов техники или целых направлений ее развития.

Инженерное прогнозирование использует наиболее универсальные методы. Среди них: коллективный экспертный опрос, экстраполяция, морфологический анализ.

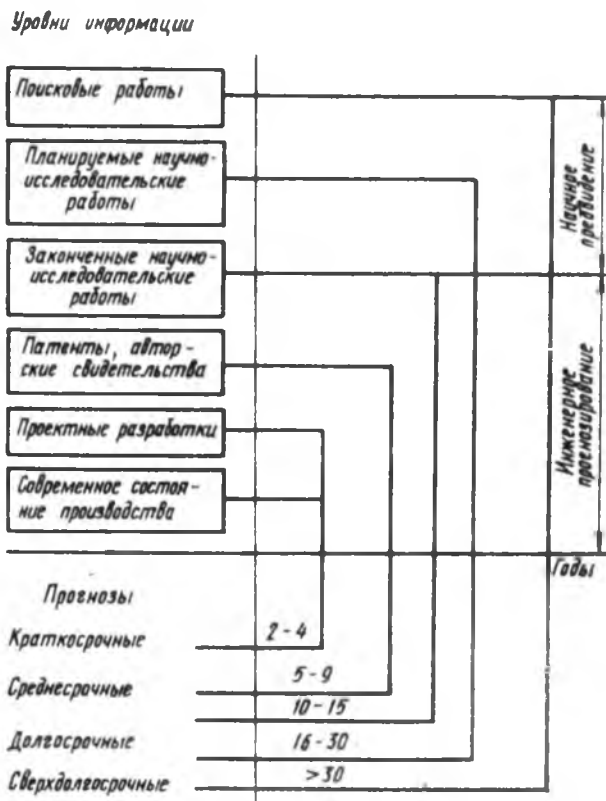


Рис 6. Источники информации и временные периоды прогнозирования

Экспертные методы прогнозирования основаны на обработке мнений специалистов. «Эксперт» от лат. *expertus* означает «опытный». Опрос экспертов может производиться в устной форме (интервью) или в форме заполнения анкет. В качестве экспертов следует выбирать специалистов, признанных ведущими в данной области и имеющих некоторый опыт прогнозирования. Количественный состав экспертной группы следует формировать с учетом возможных последствий от неверного выбора целей проектирования. Так, например, если проектируется новое изделие для

массового производства, то необходимо сформировать репрезентативную (представительную) выборку из генеральной совокупности экспертов. Для этого прежде всего определяют генеральную совокупность. В нее должны войти все известные специалисты в данной области. С учетом выделенных четырех сфер окружения объекта проектирования можно сформировать четыре группы экспертов, специализирующихся в областях: научных исследований — научно-техническая ситуация; экономики — экономическая ситуация; производства и потребления — социологическая ситуация; экологии — окружающая среда. Во многих случаях не нужно производить специальный опрос экспертов. Достаточно обратиться к публикациям, в которых можно найти их высказывания по интересующему вопросу.

Экстраполяционные методы прогнозирования основаны на переносе событий и состояний из прошлого в будущее. Они используются с успехом для ситуаций, медленно изменяющихся во времени, а точнее для ситуаций, находящихся в эволюционном развитии.

Встречаются две задачи, условно называемые статической и динамической. Решением *статической* задачи прогнозируется изменение главного признака (параметра) с изменением факторов, которые по условию задачи находятся в пределах генеральной совокупности исследуемой области. В этом случае

$$(p - \bar{p}) = b_1 (p_1 - \bar{p}_1) - b_2 (p_2 - \bar{p}_2) + \dots + b_p (p_p - \bar{p}_p),$$

где $\bar{p}$ — среднестатистическое значение главного признака (параметра); $\bar{p}$ — среднестатистическое значение факторов; p , p — конкретные значения главного признака и факторов.

Коэффициенты b_1 , b_2 , ..., b_p определяются аппроксимацией данных, полученных на основе исторического обзора.

Динамическая задача прогнозирует изменение главного признака во времени

$$p = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \dots + b_n t^n,$$

где t — время в предпрогнозный период (годы); b_0 , ..., b_n — коэффициенты, определяемые по данным предпрогнозного периода.

Морфологический анализ в инженерном прогнозировании применим как к эволюционному развитию, так и к качественным изменениям. На его основе можно предсказать преимущественное развитие того или иного объекта или целого направления техники. Сравнение конкурирующих направлений или объектов производится по ряду характеристик, имеющих определенный вес. Каждая характеристика разбивается на позиции по нарастающему смысловому значению так, что следующая по номеру позиция включает в себя по смыслу предыдущие. Весьма суще-

ственным для точности прогнозирования является определение веса характеристик. Этот показатель должен отражать объективные требования к развитию техники. Оценка характеристик по весу может производиться на основе опроса экспертов или по некоторому формальному правилу ранжирования последовательности. По первому методу экспертам дается перечень характеристик и предлагается оценить их вес. По второму — также прибегают к помощи экспертов, но в этом случае им предлагается лишь распределить характеристики в определенной последовательности по степени важности. В том и другом случае для обработки полученных данных прибегают к статистическим методам. Определяется степень совпадения мнений прогнозиста и каждого эксперта

$$\xi = \frac{N_c}{n},$$

где N_c — число случаев, когда мнение прогнозиста совпадает с мнением эксперта; n — общее число характеристик.

Среднее статистическое значение степеней совпадения по всем экспертам

$$M(p) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\Sigma}} \xi_i}{N_{\Sigma}},$$

где ξ — степень совпадения мнений прогнозиста и эксперта; N_{Σ} — число экспертов.

Для того чтобы мнение прогнозиста отвечало общему «скорректированному» мнению экспертов, необходимо

$$\Delta v \leq M(p) \leq \bar{\Delta v},$$

где Δv , $\bar{\Delta v}$ — доверительные интервалы.

Принимается: верхняя граница доверительного интервала $\Delta v = 1$; нижняя граница $\bar{\Delta v} = 0,68$.

Таким образом, если $0,68 \leq M(p) \leq 1$, то мнения прогнозиста и экспертов совпадают.

Формальный метод определения веса характеристик использует нормирующую функцию

$$\varphi(i) = \frac{i}{2^{i-1}}.$$

где i — номер характеристики в ранжированной последовательности.

Характеристики и позиции сводятся в генеральную определительную таблицу (ГОТ). Для примера в табл. 2 приведена ГОТ для прогнозирования развития строительных машин. Вес пози-

Таблица 2

ГОТ — Строительные машины

Код	Характеристики Позиции	Оценки	
		базисные /	окончатель- ные / ок
	Инженерно-техническая особенность технического решения ($i=1$, $\varphi_{(1)}=1$)		
p_1	Усовершенствование деталей существующих конструкций	1,0	1,0
p_2	Усовершенствование узлов	2,0	2,0
p_3	То же, на новом уровне механизации и автоматизации	3,0	3,0
p_4	Новое техническое решение	4,0	4,0
p_5	Принципиально новое техническое решение, имеющее смысл открытия	5,0	5,0
	Уровень обоснованности технического решения ($i=2$, $\varphi_{(1)}=1$)		
p_1	Обоснование технического решения дано на уровне элементарных гипотез	1,0	1,0
p_2	Техническое решение основано на аналогах	2,0	2,0
p_3	Обоснование на простейших теоретических представлениях	3,0	3,0
p_4	Техническое решение основано на физических моделях	4,0	4,0
p_5	Обоснование на экспериментальных исследованиях и теоретических обобщениях	5,0	5,0
	Надежность строительной машины ($i=3$, $\varphi_{(1)}=0,75$)		
p_1	Техническое решение не удовлетворяет всем четырем составляющим надежности (безотказность, долговечность, ремонтно-пригодность, сохраняемость)	1,0	0,75
p_2	Техническое решение удовлетворяет одной из составляющих	2,0	1,5
p_3	То же, двум составляющим	3,0	2,25
p_4	То же, трем составляющим	4,0	3,0
p_5	То же, всем составляющим надежности	5,0	3,75
	Производительность машины ($i=4$, $\varphi_{(1)}=0,5$)		
p_1	Техническое решение не связано с повышением производительности труда	1,0	0,5
p_2	Некоторое повышение производительности, но связанное с дополнительным расходом энергии	2,0	1,0
p_3	То же, не связанное с расходом дополнительной энергии	3,0	1,5

Код	Характеристики Позиции	Оценки	
		базисные /	окончатель- ные /ок
p_4	Существенное повышение производительности, не связанное с дополнительным расходом энергии	4,0	2,0
p_5	Существенное повышение производительности с уменьшением расхода энергии	5,0	2,5
	Выполнение эргономических требований ($i=5, \varphi(i)=0,31$)		
p_1	Техническое решение не удовлетворяет требованиям эргономики по всем показателям (физиологическим, психофизиологическим, антропометрическим, гигиеническим)	1,0	0,31
p_2	Удовлетворяются требования по одному из показателей	2,0	0,62
p_3	То же, по двум показателям	3,0	0,93
p_4	То же, по трем показателям	4,0	1,24
p_5	Техническое решение удовлетворяет всем требованиям эргономики	5,0	1,55

ции определяется ее порядковым номером. ГОТ дает возможность определить ряд показателей, по величине которых можно судить о перспективности того или иного объекта или целого направления развития техники. К таким показателям относятся:

1. Коэффициент инженерно-технической значимости объекта техники

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n j_i \varphi(i)}{\sum_{i=1}^n j_{\max} \varphi(i)},$$

где j_i — номер позиции, соответствующей рассматриваемому объекту по характеристике i ; $\varphi(i)$ — вес i -й характеристики; $j_{\max}$ — наибольший номер позиции по i -й характеристике.

Чем ближе к единице оценка объекта по ГОТ, тем он перспективней. В табл. 3 представлена шкала прогнозной перспективности объекта в зависимости от τ .

2. Приведенное число патентов характеризует научно-технический потенциал направления развития техники по анализу патентов и авторских свидетельств

$$N_{\text{пр.п}} = \sum_{k=1}^N \tau_k,$$

Таблица 3

Таблица перспективности

τ	Прогнозная перспективность объекта
1,0...0,8	Весьма перспективный
0,79...0,6	Перспективный
0,59...0,4	Малоперспективный
0,39...0,2	Неперспективный

где τ_k — коэффициент инженерно-технической значимости объекта техники по патентному источнику; N — число патентов (авторских свидетельств), относящихся к данному направлению техники.

Приведенное число патентов зависит от общего числа патентов (авторских свидетельств) по данному направлению и от их инженерно-технической значимости. Техническое направление, имеющее большее значение $N_{\text{пр. п.}}$, считается более перспективным.

Необходимость тщательного анализа окружающей среды и функции объекта проектирования проиллюстрируем на весьма поучительном примере¹.

За последние 5...10 лет отечественной промышленностью было создано несколько сотен типов промышленных роботов, многие из которых оказались весьма удачными. Ожидалось, что они получат широкое применение в производстве, освободят рабочих от тяжелого неквалифицированного труда на погрузочно-разгрузочных операциях. Однако действующие промышленные предприятия встретили роботы весьма прохладно. И здесь дело не только в социальных факторах, важнее другое. Современное производство весьма сложный организм. Заменить в нем один элемент другим принципиально так, чтобы он продолжал действовать эффективно, дело не простое. Рабочий, занятый даже на неквалифицированной работе, в определенной мере выполняет функции синхронизатора производства. Замена его роботом далеко не всегда равноценна, особенно в технологическом процессе, подверженном случайным воздействиям.

Использование роботов становится тогда эффективным, когда меняется весь технологический процесс, вся организация труда.

Приведем высказывание А. Холла. Он утверждает, что ошибки, допущенные при выборе целей проектирования, особо тяжелы по своим последствиям. Выбрать не то техническое решение

¹ См.: Раппопорт Г. Н., Сомин Ю. В. Применение промышленных роботов М., Машиностроение, 1985.

значит создать не очень удачный объект, выбрать не те цели значит создать не то, что нужно.

Сценарий вскрывает множество факторов, определяющих в дальнейшем направление поиска технического решения проектируемого изделия. На основе сценария можно сформулировать цели проектирования исходя из различных сфер окружения. Для

Уровни сфер окружения

I. Интересы всего человечества

II. Государственные интересы

III. Интересы отрасли

IV. Интересы предприятия (заказчика)

V. Интересы проектной организации

VI. Интересы отдела

VII. Интересы личные

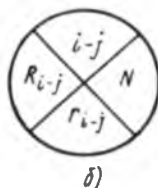
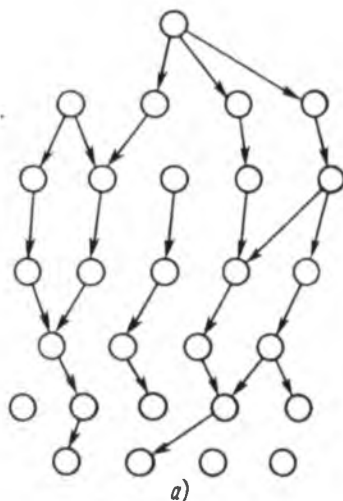


Рис. 7. Граф целей:

a — уровни сфер окружения объекта проектирования; *b* — обозначения на вершинах графа

наглядного представления и систематизации целей используется так называемый граф целей [70]. Все окружение разбивается на уровни в зависимости от их масштаба. На первом уровне помещается сфера, охватывающая интересы всего человечества. На втором — интересы государства. Далее размещаются сферы интересов отрасли, предприятия (заказчика), проектной организации (исполнителя), отдела и, наконец, сфера личных интересов. На каждом уровне возникают свои цели, подчиненные целям более высокого уровня. Граф, вершины которого означают цели, а ребра — их отношения, и носит название графа целей. На рис. 7 изображен такой граф. Вершины его ориентированы

относительно уровней сфер окружения. При составлении графа в каждом конкретном случае нужно прежде всего решить, начиная с какого уровня необходимо учитывать сферы окружения. Проектируемое изделие не всегда влияет на интересы государства и тем более всего человечества. Однако чрезмерное усечение уровней может оказать неучтенное воздействие в сферах более высокого уровня. Каждой цели определенного уровня можно придать относительный (в долях единицы) или абсолютный вес. Делать это наиболее рационально на основе экспертных оценок.

Попытаемся с помощью графа найти наиболее важные цели на каждом уровне. Для этого выполним следующее:

1) разобьем каждый кружок, означающий вершину графа, на четыре сектора;

2) в верхних секторах проставим номера вершин $i-j$, $i \in I, II, \dots, j \in 1, 2, \dots$, где i — номер уровня; j — номер цели на i -й уровне;

3) в нижних секторах запишем оценки весов целей по их относительной значимости на каждом уровне r_{i-j} .

Пока ранжирование целей проведено без учета их связей. Однако достижение некоторых из них, кроме главной, находящейся на первом уровне, оказывается средством к достижению связанных с ней целей более высокого уровня. Естественно, что конструктор яснее всего осознает свои личные цели. Достигая их, он обеспечивает выполнение связанных с ними более высоких по уровню целей. Скорректируем веса целей с учетом связей. Воспользуемся понятием коэффициента связи [70]. Определим его как сумму произведений относительных весов вершин (целей), входящих в цепи на графе от высшего уровня до рассматриваемого и завершающихся вершиной ($i-j$):

$$K_{i-j} = \sum_{\{n\}} \prod_{l=1}^{i-j} r_{l-j};$$

$\{n\}$ — ребра, связывающие рассматриваемую вершину с вышележащими.

Вновь вернемся к рассмотрению важности целей на каждом уровне. Теперь уже наиболее значимой следует считать ту, у которой окажется больший абсолютный вес, равный сумме относительного веса и коэффициента связи. Проставим абсолютные веса в левых секторах вершин, а в правых — место цели на данном уровне по степени ее важности. Конструктор может «обрезать» граф, отбрасывая его отдельные вершины, а в некоторых случаях и целые цепи.

Может оказаться, что в отброшенные цели попадут и личные. В этом случае конструктору придется поступиться некоторыми собственными интересами. Вершины, оставшиеся на гра-

фе, определяют наиболее важные цели, к достижению которых и должно быть направлено проектирование.

В завершение опишем кратко основное содержание и структуру процедуры выбора целей проектирования. Процедура представляет собой совокупность операций по разработке сценария; определению полного множества целей применительно к проектированию объектов данного класса; выбору подмножества целей и ранжирования их по важности. Сценарий, включающий прогнозы развития факторов окружения, должен войти в упоминавшийся ранее банк знаний. Составленный однажды для всей области техники (землеройные машины, металлорежущие станки, грузовой автотранспорт и т. д.), он сможет «питать» информацией процедуру выбора целей проектирования как для определения полного множества, так и для конкретного его подмножества.

По мере изменения факторов окружения должен изменяться и сценарий. Процедура дает первое описание (ОП₁) объекта проектирования в виде математической модели, представляющей упорядоченное множество целей.

Обратимся к примеру выбора целей применительно к объекту новой техники для разработки мерзлых грунтов.

Наиболее существенные факторы окружения проектируемого объекта представлены схемой на рис. 8.

Описание их начнем с научно-технической ситуации.

Научные исследования и изобретения. Сопротивляемость разрушению мерзлых грунтов значительно выше сопротивляемости немерзлых. Это обусловлено физической особенностью, состоящей в том, что в мерзлых грунтах то или иное количество воды находится в твердом состоянии. Лед, как пародообразующий минерал, является льдом-цементом. Благодаря ему мерзлый грунт и приобретает значительно более высокую сопротивляемость разрушению. Другой отличительной особенностью мерзлых грунтов оказывается зависимость его механических характеристик от внешних факторов, в частности от температуры. Эта особенность объясняется наличием в системе мерзлого грунта незамерзающей воды, находящейся в равновесном по количеству состоянии с величиной внешних воздействий.

Основные структурные составляющие мерзлых грунтов.
Твердая фаза: скелет мерзлых грунтов; криогенные материалы (лед, криогидраты, кристаллогидраты); *жидкая фаза;* газообразная фаза.

Прочность мерзлых грунтов в десятки, а иногда и сотни раз превосходит прочность этих же грунтов в немерзлом состоянии. Кроме того, мерзлый грунт обладает высокой абразивностью. Вмороженные в массиве мерзлого грунта твердые включения — галька, щебень, валуны — становятся препятствием для разработки в значительно большей степени, чем эти же включения

в немерзлых грунтах. Разрушение мерзлых грунтов имеет упруго-пластический характер. Причем с понижением температуры мерзлый грунт в большей степени приобретает хрупкие свойства. В связи с этим рабочее оборудование, взаимодействующее с мерзлым грунтом, испытывает весьма неравномерное сопротивление. В наименьшей степени мерзлый грунт сопротивляется

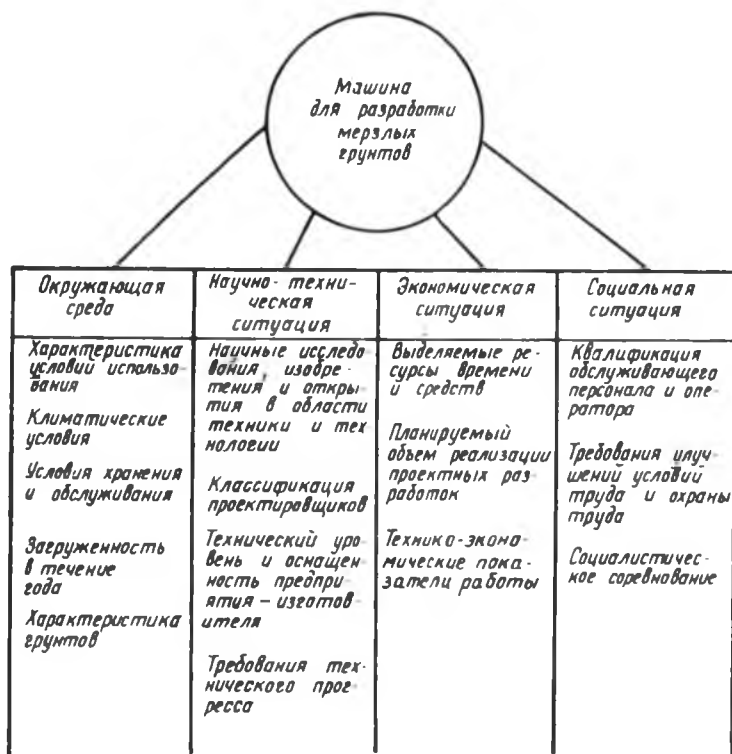


Рис. 8. Факторы окружения машины для разработки мерзлых грунтов

растяжению. Если принять условно за единицу удельное сопротивление одноосному растяжению [31], то можно получить следующее соотношение сопротивляемости мерзлых грунтов разрушению при других видах деформации: сдвиг — 1,7; изгиб — 2,0; одноосное сжатие — 3,0; резание — 9,0; статическое вдавливание — 21.

Из приведенного сопоставления следует, что для разрушения мерзлых грунтов рациональнее применять такие способы, при которых преобладают напряжения разрыва. Вообще под разрушением мерзлого грунта будем понимать создание в нем необра-

тимых деформаций или перевод его в талое состояние. По этим условиям все возможные способы разрушения можно разбить на механические и термические.

Механические способы связаны с нарушением целостности массива мерзлого грунта без перевода его в талое состояние. Достигается это воздействием инструмента, а также давлением газов при взрыве. Под термическим способом разрушения мерзлых грунтов понимается изменение его физико-механических свойств за счет перевода в жидкое состояние льда-цемента, а также создание в нем температурных напряжений, вызывающих необратимые деформации.

Не станем подробно останавливаться на анализе способов разрушения мерзлых грунтов. Заинтересованный читатель может узнать о них сам. В работах [31], [64] и других отмечается, что в настоящее время преобладающими способами оказываются механические. Ими производят 80...90% всего объема земляных работ. Обратимся к прогнозированию. По классификационным признакам (см. табл. 1) объект прогнозирования отвечает пунктам: а, б, б, а, а, а. Среди многих возможных методов выберем наиболее освоенный — анализ динамики патентования. Конкурирующие технические направления (механическое и термическое разрушение) получают в ближайшие 5...10 лет применение в объеме, пропорциональном приведенному числу патентов. Для его определения использовалась ГОТ (см. рис. 2). Оценке по ГОТ были подвергнуты авторские свидетельства, относящиеся к разработке мерзлых грунтов (класс E02/5/30) за последние 10 лет и патенты, выданные в США, ФРГ, Франции, Японии, Великобритании за тот же период, опубликованные в объединенном издании патентных бюллетеней «Изобретения за рубежом». Всего было рассмотрено 115 авторских свидетельств и патентов. Из них 78 основаны на механическом разрушении; остальные — на термическом. Приведенное число патентов составило:

для механических способов $N_{\text{пр. п. а}} = 62,4$;

для термических $N_{\text{пр. п. в}} = 24,3$.

На основе приведенного прогноза можно было утверждать, что преимущественное применение при разработке мерзлых грунтов будут иметь в ближайшие 5...10 лет механические способы разрушения. Объясняется это тем, что термические способы пока еще более энергоемки. Возрастание единичной мощности землеройных машин позволяет все успешнее справляться с разработкой мерзлых грунтов и при этом удельная энергоемкость процесса снижается. С момента составления прогноза прошло 15 лет и его выводы подтвердились.

Квалификация проектировщиков. Проектирование средств для разработки мерзлых грунтов предполагалось вести силами инженеров и технических работников треста и института. Ка-

федра была намерена использовать студенческое конструкторское бюро, для участников которого проектирование и реализация объектов новой техники служат хорошей школой. Кроме того, поиск новых технических средств для разработки мерзлых грунтов и выбор их рациональных параметров составляли тему кандидатской диссертации одного из аспирантов.

Технический уровень и оснащенность предприятия-изготовителя. Изготовление проектируемого объекта трест намерен был выполнить своими силами, располагая производственной базой Управления механизации, оснащенной оборудованием, необходимым для технического обслуживания и ремонта строительных (землеройных) машин.

Требования технического прогресса. Научно-технический прогресс выдвигает задачи интенсификации производства, повышения производительности труда, снижения металлоемкости машин и энергоемкости на единицу продукции. Кроме того, должны постоянно совершенствоваться условия труда операторов машин и обслуживающего персонала.

Окружающая среда. Характеристика условий использования объекта проектирования (ОП). Проектируемое средство для разработки мерзлых грунтов планировалось использовать в условиях городского строительства при работах нулевого цикла. Характеристики объектов использования:

объем разработки грунтов на объекте — 15 000 м³;

средняя дальность перемещения с объекта на объект — 3 км.

Характеристика грунтов. В Ленинграде и области глубина сезонного промерзания в среднем составляет 1,2 м. Грунты в основном суглинистые, нередко насыпные с большим количеством твердых включений.

Климатические условия. Температура воздуха в зимнее время в среднем составляет —12°С, редко опускается ниже —25°С. Снежный покров составляет в среднем 40 см.

Условия хранения и обслуживания ОП. Хранение и техническое обслуживание объекта предполагались на открытом воздухе, а ремонт — в цехах Управления механизации.

Загруженность ОП в течение года. В среднем средства для разработки мерзлых грунтов необходимы на объектах строительства 3 месяца в году.

Социальная ситуация. Квалификация оператора и обслуживающего персонала. Проектируемый объект не предполагался к массовому выпуску, поэтому квалификация оператора и обслуживающего персонала планировалась на уровне рабочих, обслуживающих обычные землеройные машины.

Требования улучшения условий и охраны труда. Улучшение условий труда связано с уменьшением трудоемкости технического обслуживания и управления машиной. При отрицательной температуре воздуха необходимо сводить к минимуму под-

готовку технического устройства к работе на объекте. Кабина оператора должна быть удобной, обогреваемой, иметь вентиляцию.

Социалистическое соревнование. Трест, отдел и кафедра считали разработку новой техники как форму участия в социалистическом соревновании с родственными организациями и их подразделениями.

Экономическая ситуация. Выделяемые ресурсы времени и средств. Заказчик (строительный трест) намерен был получить рабочую документацию на изготовление средств для разработки мерзлых грунтов через год. В проектировании могли принять участие работники технического отдела треста, сотрудники кафедры, студенты. На проектные работы трест мог выделить 5 тыс. руб.

Планируемый объем реализации проектируемых средств. Объем реализации проектных разработок трестом предварительно не назначался. Для удовлетворения собственных нужд ему необходимо одновременно обеспечить работу по разработке мерзлых грунтов на 10 объектах. Это число и следовало считать ориентировочной потребностью в проектируемых средствах.

Технико-экономические показатели ОП. С точки зрения экономики трест намерен был получить экономический эффект уже на первом году эксплуатации проектируемых устройств. На этом основании за первый год эксплуатации должны были окупиться средства, выделенные на проектирование, подготовку производства и изготовление проектируемых устройств.

Сценарий. Из анализа факторов окружения проектируемого объекта составлен сценарий.

Новое устройство для разработки мерзлых грунтов появится на свет через 2 года. За этот период времени существенных изменений в технологии не произойдет. Вероятнее всего это устройство будет основано на механическом способе разрушения мерзлого грунта и будет базироваться на некоторых, уже существующих машинах.

Внедрение будет способствовать интенсификации производства, повышению производительности труда, снижению металлоемкости и энергоемкости. Для своего изготовления оно не потребует сложной технологической оснастки производства. Устройство будет мобильно, сможет разрабатывать мерзлый грунт на глубину не менее 1 м с учетом твердых включений. Оно не предъявит повышенных требований к содержанию и обслуживанию по сравнению с существующими машинами. Более того, снизит трудоемкость технического обслуживания, улучшит условия работы оператора. Невысокие затраты на проектирование и подготовку производства обеспечат получение экономического эффекта уже в первом году эксплуатации.

На основе сценария построен граф целей (рис. 9). Учитывая, что область применения проектируемого объекта ограничивается сферой деятельности отрасли, решено было не затрагивать интересы государства и тем более всего человечества. Целью на уровне отрасли является интенсификация производства. На графе эта цель обозначена номером *I-1*.

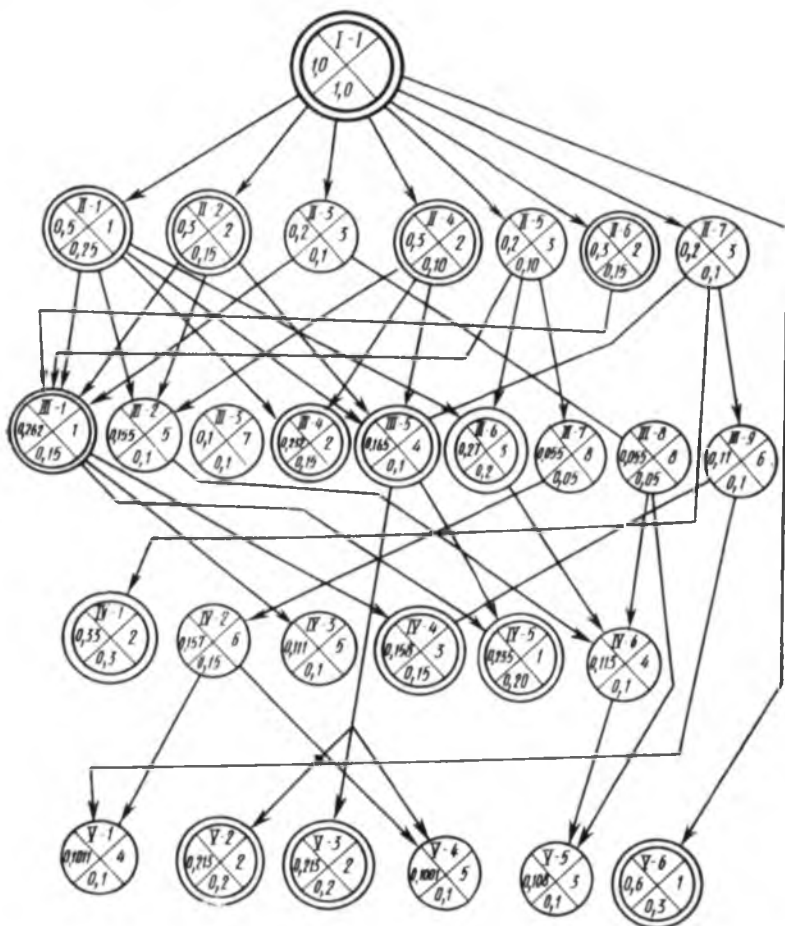


Рис. 9. Граф целей проектирования машины для разработки мерзлых грунтов

Цели на уровне предприятия (заказчика):

- II-1* — снижение себестоимости разработки мерзлых грунтов;
- II-2* — внедрение объектов новой техники;
- II-3* — успех в социалистическом соревновании с другими предприятиями;

II-4 — своевременное завершение строительства на объектах;
II-5 — повышение материальной заинтересованности рабочих и служащих;

II-6 — улучшение условий труда;

II-7 — снижение затрат на внедрение новой техники.

Цели на уровне отдела, проектирующего объект:

III-1 — разработка объектов новой техники;

III-2 — выполнение проекта в установленный срок;

III-3 — снижение объема проектных разработок;

III-4 — обеспечение надежности проектируемого изделия;

III-5 — обеспечение возможности изготовления проектируемого изделия силами предприятия;

III-6 — обеспечение экономического эффекта на первом году использования новой техники;

III-7 — повышение квалификации работников отдела;

III-8 — успех в социалистическом соревновании с другими отделами;

III-9 — перспективность проектной разработки.

Цели кафедры:

IV-1 — привлечение студентов к техническому творчеству на реальных проектных разработках;

IV-2 — повышение квалификации сотрудников кафедры;

IV-3 — участие в создании новой техники;

IV-4 — укрепление связей с производством;

IV-5 — внедрение результатов научно-исследовательской работы в производство;

IV-6 — успех в социалистическом соревновании с другими кафедрами.

Цели личные:

V-1 — подготовка диссертационной работы аспирантом кафедры;

V-2 — материальное поощрение за разработку и внедрение новой техники;

V-3 — моральное удовлетворение от успешно выполненной работы и ее признания;

V-4 — получение материала для публикаций;

V-5 — получение авторских свидетельств на изобретение;

V-6 — личное участие в повышении производительности труда в строительстве.

Веса целей на каждом уровне были установлены путем опроса соответствующих групп экспертов. Значения весов в относительных единицах проставлены в нижних секторах вершин графа. В левых секторах проставлены абсолютные веса. Так, например, для вершины *III-4* коэффициент связи найден из следующего расчета. Вершина *III-4* входит в три цепи. Первая

включает I-1, II-1, III-4; вторая — I-1, II-4, III-4; третья — I-1, II-6, III-4. Тогда

$$K_{III-4} = (1,0 \times 0,25 \times 0,15) + (1,0 \times 0,15 \times 0,15) + \\ + (1,0 \times 0,15 \times 0,15) = 0,0375 + 0,0225 + 0,0225 = 0,0825.$$

На каждом уровне выделены наиболее значимые цели по абсолютному весу. Соответствующие им вершины графа обведены дополнительным кружком.

Наиболее значимые личные цели:

личное участие в повышении производительности труда в строительстве;

моральное удовлетворение от успешно выполненной работы и от признания ее;

материальное поощрение за разработку и внедрение новой техники.

Наиболее значимые цели на уровне кафедры:

внедрение результатов научно-исследовательской работы в производство;

привлечение студентов к техническому творчеству на реальных проектных разработках;

укрепление связей с производством.

Наиболее значимые цели на уровне отдела треста:

разработка объектов новой техники;

обеспечение надежности проектируемого объекта;

обеспечение экономического эффекта на первом году использования новой техники.

Наиболее значимые цели на уровне предприятия:

снижение себестоимости разработки мерзлых грунтов;

внедрение объектов новой техники;

своевременное завершение строительства на объектах;

улучшение условий и охраны труда.

3.3. Определение основных признаков объекта проектирования

Под признаком технической системы понимаются характеристики ее свойств, причем они могут быть как качественными, так и количественными. Количественные характеристики называют параметрами. Признаки, используемые для оценки качества изделия, составляют показатели качества. Независимо от принадлежности к той или иной области техники объекты проектирования характеризуются определенным множеством признаков, отражающих их свойства на всех этапах жизненного цикла.

Основные подмножества признаков:

показатели назначения;

категория качества;
 показатели надежности;
 показатели технологичности;
 уровень унификации и стандартизации;
 показатели безопасности работы и обслуживания;
 показатели эстетичности и эргономичности;
 характеристики патентной чистоты;
 характеристики условий эксплуатации технического обслуживания и ремонта;
 показатели экономичности.

Цели проектирования и признаки объекта вступают в бинарные отношения. Так, например, цель повышения производительности труда при использовании объекта новой техники связана с такими признаками, как единичная мощность, энергоемкость, время цикла (для машин цикличного действия), количество операторов.

Описание объекта проектирования, включающее цели и признаки, ранее было названо концептуальной моделью. Описание сводится к построению подмножества признаков, элементы которого вступают в бинарные отношения с элементами выбранного подмножества целей (A_0). На языке математической логики это выражается так:

$$P_0 = \bigcap_{d \in I} (\bigcap_p (\bigvee_a) [(a, p) \in \varphi \wedge a \in A_0]).$$

В настоящее время процедура определения основных признаков выполняется опытным конструктором, хорошо ориентирующимся в признаковом пространстве объектов конкретной области техники, и совмещается с разработкой технического задания.

Для автоматизированного выполнения процедуры нужно построить полные множества целей и признаков, что должно войти в банк знаний, установить бинарные отношения между элементами этих множеств с помощью, например, булевой матрицы и производить срез внутри этих отношений по выбранному подмножеству целей A_0 .

Установить признаки объекта на данном этапе проектирования еще не означает выбрать его конструктивное решение. Признаковое пространство достаточно широко для вмещения многих вариантов технического решения, хотя и определяет направление дальнейшего поиска. Так, например, конструктивные признаки при совершенствовании существующих машин отражают пока лишь тенденцию их развития. Если же цель проектирования состоит в создании принципиально новой конструкции, то в концептуальное описание может войти указание на наиболее перспективное направление технических решений.

Признаки, отвечающие наиболее важным целям, назовем основными.

Так, в рассматриваемом примере проектирования устройства для разработки мерзлых грунтов цель на уровне отрасли — интенсификация производства связана с таким признаком, как производительность.

Цель на уровне предприятия — снижение себестоимости разработки мерзлых грунтов — требует учета таких признаков, как расход энергии, эксплуатационные расходы, затраты на проектирование, подготовку производства и изготовление.

Цель внедрения объектов новой техники диктует необходимость учета такого признака, как степень новизны объекта проектирования, а своевременное завершение строительства связано со сроками разработки и внедрения новой техники.

Достижение цели улучшения условий труда определяется системой эргономических показателей: трудоемкость управления и обслуживания, устройства, размеры кабины оператора, уровень шума и вибрации, температура в кабине и др.

Цели на уровне отдела, кафедры и личные дополняют множество такими признаками, как надежность объекта новой техники, возможность его изготовления силами предприятия, обоснованность технического решения предшествующими научными исследованиями, требуемая квалификация проектировщиков, степень морального удовлетворения при разработке объекта, величина материального вознаграждения за его разработку и внедрение.

Основные признаки служат ориентирами в поиске вариантов технического решения, выполняемого на следующем этапе проектирования. Они же или часть из них послужат и критериями для сравнения вариантов.

3.4. Техническое задание

Техническое задание (ТЗ) на проектирование — первый и весьма важный технический документ. Он разрабатывается всегда независимо от дальнейшей стадии разработки.

Содержание ТЗ определено ГОСТ 15.001—88. Основное назначение технического задания — определить цели проектирования, обосновать направление поиска.

Составляется этот документ заказчиком с участием конструктора. Особо нужно подчеркнуть, что в современных условиях выполнить проектирование качественно только инженеру-конструктору, как правило, не удастся. Необходимо его постоянное сотрудничество с инженером-технологом и художником-конструктором.

На стадии разработки ТЗ инженер-технолог устанавливает базовые показатели технологичности изделия на основе аналогов с учетом корректирующих коэффициентов. Художник-конструктор в рамках составления сценария проводит предваритель-

ный анализ проектной ситуации с точки зрения технической эстетики и эргономики.

В ТЗ отражаются и результаты патентных исследований, указывается перспективное направление технических решений, а иногда и конкретное изобретение (группа изобретений), рекомендованное к внедрению.

4. ПРОЦЕДУРЫ НА СТАДИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

4.1. Поиск возможных технических решений

На входе процедура поиска возможных технических решений имеет цели проектирования и основные признаки, а выходом ее должны стать варианты достижения поставленных целей, т. е. варианты проектируемого объекта. Этот этап проектирования в наибольшей степени носит творческий характер. Здесь наглядно проявляются способности конструктора к изобретательству. О том, что такое изобретательство, какие черты интеллекта ему способствуют, написано много (см. [7, 24, 26, 44, 57, 65, 66]).

Как уже отмечалось, к изобретательству наиболее склонны люди с хорошо развитым ассоциативным мышлением. Поиск возможных технических решений весьма увлекательный и в то же время напряженный процесс. Многим конструкторам он доставляет интеллектуальное наслаждение, подобное тому, какое испытывает любитель шахматной игры. Мозг такого человека находится в состоянии творческого поиска даже в те моменты, когда сам человек занят совершенно другим делом. Конструктор знает, что то или иное техническое решение может возникнуть в его сознании совершенно неожиданно. Часто это бывает в транспорте, нередко в кино, театре, во сне. Разгадка механизма творчества — неотъемлемое условие создания искусственного интеллекта. На заре технического творчества поиск конструктивного решения всецело относился к области искусства. В настоящее время этот процесс все ближе примыкает к науке. Использование систематизированных и обобщенных знаний в поиске технических решений — характерная черта современного проектирования. Знания нужны не для того, чтобы освободить человека от творчества, а для того, чтобы сделать его более целенаправленным. Стремление к сокращению сроков проектирования не позволяет надеяться на спонтанное озарение, его нужно стимулировать. Нередки случаи, когда наиболее удачный вариант технического решения возникал в конце разработки и уже не мог быть использован.

Задача состоит в том, чтобы определенными приемами побудить появление наилучшего варианта на соответствующем этапе

проектирования — этапе поиска возможных решений. Одним из таких приемов является многовариантность технического решения. «Чем больше идей, тем лучше» — так совершенно справедливо характеризуют этот этап проектирования. Сейчас в техническом творчестве участвуют миллионы специалистов. Вероятность того, что той же самой проблемой, которая стоит перед конструктором, занимались или занимаются другие, весьма велика. В этих условиях становится необходимым прежде чем приступить к разработке вариантов, ознакомиться с тем, что уже в этом направлении сделано, т. е. собрать необходимую информацию.

Нередко можно слышать от студентов, впервые приступающих к выполнению курсового проекта по специальным дисциплинам, о том, что им не удастся найти необходимую литературу. Опытные же конструкторы порой жалуются на то, что им не хватает времени на освоение потока информации по их проблеме.

К источникам информации при поиске возможных технических решений проектируемого изделия относятся:

- специальная литература (учебники, монографии);
- специальные технические журналы;
- общетехнические и общенаучные журналы;
- художественная литература (особенно научно-фантастическая);
- реферативные журналы;
- авторские свидетельства и патенты.

В нашей стране действует система обеспечения проектных организаций необходимой патентной информацией. Во главе этой системы (рис. 10) находится Государственный комитет Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий. В систему входят:

Центральный научно-исследовательский институт патентной информации и технико-экономических исследований (ЦНИИПИ);

Всесоюзная патентно-техническая библиотека (ВПТБ);

Производственно-полиграфическое предприятие «Патент».

ЦНИИПИ занимается проблемами патентной информации, прогнозированием развития техники, подготовкой к выпускам информационных материалов, справочно-информационным обслуживанием и оказанием патентных услуг научно-исследовательским и конструкторским организациям. В частности ЦНИИПИ издает информационный бюллетень «Изобретения за рубежом».

ВПТБ хранит и систематизирует патентный фонд. Она является научно-методической базой для территориальных (ТПФ) и отраслевых патентных фондов (ОПФ).

«Патент» занимается комплектованием и обработкой патентных фондов, обслуживает научно-исследовательские и проектные организации копиями патентной документации и информационными материалами.

Использование патентной информации при проектировании является обязательным условием. Во-первых, в ходе разработки вариантов могут возникнуть патентоспособные технические решения, во-вторых, принятый для последующей проектной разра-



Рис. 10. Система обеспечения конструктора патентной информацией

ботки вариант должен обладать патентной чистотой. Последнее означает, что техническое решение, положенное в основу проектной разработки, не содержит элементов, запатентованных в странах, куда может ожидаться продажа проектируемого изделия.

В области изобретательского дела бытует понятие «обычное проектирование». Цитируем из [34]: «Под обычным проектированием понимается решение обычной задачи для достижения известной цели, осуществляемое известными путями или способами с помощью известных средств, т. е. при обычном проектировании специалисту известна задача, цель, способ и средство решения». Попытка отыскать пример такого рода деятельности приводит к такому выводу, что в охарактеризованных условиях протекает «проектирование» лишь в одном случае — при выпол-

нении курсового проекта нерадивым студентом. Ему известна задача — задание выдал преподаватель. Цель также ясна — «спихнуть» проект. Способ — отыскать аналогичное задание у другого студента. Средство решения — перечерчивание и переписывание. Если же не уподобляться такому студенту, то обычное проектирование всегда связано с неопределенностью в постановке целей, с поиском наиболее рациональных способов и средств решения. Очевидно, специалисты в области изобретательского дела понимают под «обычным» проектирование нового образца внутри типоразмерного ряда. Действительно в этом случае конструктор может воспользоваться известным конструктивным решением, примененным в базовом изделии. Однако практика показала, что, во-первых, унифицированные сборочные единицы составляют в изделиях внутри типоразмерного ряда не более 50% от всех сборочных единиц, во-вторых, любое количественное изменение того или иного параметра, особенно главного, в подавляющем большинстве случаев приводит к качественно новым техническим решениям, если не для всего изделия, то по крайней мере для одного из его составляющих. Надо отдать должное специалистам в области изобретательского дела в понимании этого момента. Цитируем из [34]: «На практике, однако, не всегда вся целиком разработка может быть признана изобретением. Изобретение обычно скрыто в разработке, его надо уметь найти».

Несомненно, что цели изобретателя и проектировщика различны. Если первый стремится найти новое техническое решение, не всегда заботясь о возможности его реализации, то второй может положить в основу создаваемого изделия лишь то решение, которое определенно сулит положительный эффект и может быть реализовано. Конечно, такое противоречие в целях не противостоит конструктору изобретателю. В нашей стране нет профессии изобретатель. Изобретателем может быть человек любой профессии, в том числе и конструктор. Более того, конструктор, принимающий участие в разработке вариантов технического решения, невольно сталкивается с изобретательством. Однако определенную опасность для результатов общей работы может составить специалист, чрезмерно увлеченный изобретательством, как, впрочем, и тот, кто стремится к «обычному проектированию» в том понимании, о котором говорилось ранее.

Несмотря на то что поиск технических решений при разработке вариантов изделия относится к сфере творчества, многие опытные конструкторы прибегают к некоторым организационным приемам для систематизации своей работы. В данной работе нет возможности привести описание всех приемов и методов.

Заинтересованному читателю следует обратиться к источникам [7, 23, 24, 44, 65, 66].

Известные в настоящее время приемы и методы поиска технических решений по степени формализации делят на три группы [1]:

1. Неформализованные эвристические приемы и методы, состоящие из набора эвристик.

2. Частично формализованные эвристические методы-эвrorитмы, часть операций в которых описана в виде алгоритмов.

3. Полностью формализованные приемы и методы-алгоритмы.

Названные группы весьма отличаются по численности входящих в них приемов и методов. Наиболее многочисленна первая группа. Она включает как общие (инвариантные) методы, применимые к объектам любой техники, так и частные, относящиеся к определенному классу технических систем и их элементов.

Полностью формализованные методы (алгоритмы) составляют самую малочисленную группу и относятся лишь к конкретным объектам техники. Однако с развитием методики проектирования все большее число методов переходят из первой группы во вторую и из второй в третью. Автоматизированное проектирование строится на второй группе методов, а автоматическое — на третьей.

Эвристические методы рождаются в результате анализа уже выполненных проектных разработок. Некоторые из них являются сугубо индивидуальными, связанными с образом мышления конкретной личности. Передаваемые от учителей к ученикам, они зачастую не приносят последним тех результатов, которых добился учитель.

Другие приемы и методы несомненно полезны всем, помогают преодолеть инерцию мышления, служат ориентирами в поиске технических решений.

Эвристические приемы. Эвристический прием указывает на то, как преобразовать имеющееся техническое решение для получения искомого.

Большинство эвристических приемов включает две части: первая отвечает на вопрос «что изменить?», вторая — «как изменить?». Первая часть может содержать несколько переменных, а вторая — несколько способов их изменения. Поэтому приемы зачастую содержат несколько поисковых шагов. В работе [1] приведен перечень эвристических приемов, названный межотраслевым фондом. Всего он содержит 258 приемов, объединенных в 15 групп. Начинающему конструктору рекомендуется освоить 50...100 приемов, отредактировать и конкретизировать их с ориентацией на рассматриваемый класс объектов. Полученный таким образом индивидуальный фонд можно пополнить в дальнейшем на основе изучения и анализа истории конструктивной эволюции и соответствующего патентного фонда.

При поиске технических решений, используя эвристические приемы, следует выполнить следующее:

1) уяснить цели проектирования, изложенные в техническом задании, и составить список признаков искомого технического решения;

2) выбрать из известных технических решений (если оно не задано) один или несколько прототипов, в наибольшей степени отвечающих списку признаков;

3) проанализировать прототипы, выявив несоответствие их признаков искомым решениям;

4) в соответствии с признаками, подлежащими изменению, выбрать наиболее подходящий прием из общего (межотраслевого) или индивидуального фонда, если он уже создан. Следует иметь в виду, что зачастую задачу можно решить не сразу, а последовательно, улучшая результаты с помощью различных приемов.

Примеры использования эвристических приемов можно найти в [1].

Метод эвристических приемов наиболее прост в освоении. С него следует начинать обучение студентов проектированию.

Уместно отметить, что метод поиска технических решений с помощью эвристических приемов отражает идею «общего решателя задач». Как там, так и здесь имеется некоторый объект (прототип), к которому применяется преобразование (эвристический прием), после чего полученный результат сравнивается с целевым.

Метод гирлянд ассоциаций. В некоторых случаях, когда цель проектирования определяет единственный признак объекта — ювизну, можно воспользоваться методом гирлянд ассоциаций. Для этого объекту подбираются синонимы (если это возможно), а затем случайным образом называют другие объекты и составляют комбинации из тех и других. Каждую пару объектов дополняют тем или иным признаком случайного объекта или ассоциациями, которые они вызывают. Основным смыслом метода заключается в том, чтобы «расшатать» устоявшиеся представления об объекте. Конечно же подавляющее большинство комбинаций — объект (синоним), признаки и ассоциации — окажутся абсурдными. Однако, как утверждается в [1], на практике 10...15% комбинаций составляют интересные идеи.

Мозговой штурм. Метод организует коллективную работу конструкторов. Руководитель (конструктор) собирает группу специалистов, как правило не более 10 человек, и ставит перед ними задачу поиска технических решений, удовлетворяющих определенным признакам. Каждый участник сеанса мозгового штурма, продолжающегося не более 1 часа, может высказывать любые идеи. Анализ и критика их во время сеанса не допускаются. Основным девизом: «Чем больше идей — тем лучше». Если

в ходе сеанса, по мнению руководителя, высказано мало идей, то он может быть повторен, возможно, с другим составом специалистов. Все высказывания стенографируются или записываются на магнитную ленту.

Синектика. Метод подобен мозговому штурму и отличается от него только тем, что основная задача сводится к обсуждению одного или двух вариантов технических решений, но с детальным их рассмотрением. В число группы включаются специалисты разных профессий.

Метод идеального объекта. Прежде чем отыскивать реальные технические решения, рекомендуется [7] пофантазировать, представить себе «идеальное» решение поставленной задачи. Самым идеальным будет такое решение, при котором ни проектировать, ни создавать объект не нужно, и в то же время вызывающая его потребность окажется удовлетворенной. В такой постановке задача уже ставилась на первом этапе проектирования. Если же все-таки нужно что-то создавать, то лучше это сделать самым простым образом. Скажем, для перемещения можно предложить ковер-самолет; для обслуживания посетителей в заведениях общественного питания — скатерть-самобранку. Конечно, полет фантазии должен быть ограничен пределами осуществимого. Так и в примере с разработкой мерзлых грунтов, «идеальным» можно считать такое техническое решение, которое делает работу в мерзлых грунтах хотя бы такой же трудоемкой и энергоемкой, как и в талых.

Выбрав идеальный объект или способ удовлетворения потребности, в дальнейшем надлежит установить препятствия к их реализации. В борьбе с этими препятствиями и следует построить поиск технических решений. Изложенный метод несомненно организует поиск. Однако представление идеального способа достижения цели в некоторых случаях и составляет основную трудность.

Морфологический анализ. Рассмотренные до сих пор приемы и методы относятся к первой группе по степени формализации. Морфологический анализ включает операции, выполняемые алгоритмически, и, следовательно, принадлежит ко второй группе методов. Сущность его состоит в расчленении общей функции проектируемого объекта на частичные и в отыскании возможных способов их реализации. То или иное сочетание различных способов выполнения всех частных функций и составляет вариант технического решения. Для лучшей организации работы по этому методу можно воспользоваться таблицами приемлемости [60].

Форма, удобная для разработки вариантов проектируемого объекта, представлена в виде табл. 4. В ячейках таблицы записываются общая функция проектируемого устройства, частные функции, средства выполнения частных функций.

Таблица разработки вариантов технического решения

Частная функция y_1			Частная функция y_2			Частная функция y_n			Общая функция Y
u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{n1}	u_{n2}	u_{n3}	X
	1			1			1		x_1
		1	1					1	x_2
1			1				1		x_n

Каждая строка таблицы соответствует варианту технического решения:

$$x_k = \bigwedge_{i=1}^n u_{ij}; \quad k = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, l},$$

$$x_k \in X, \quad u_{ij} \in U_i,$$

где x_k — элемент множества технических решений; X — полное множество технических решений; u_{ij} — средство j выполнения функции i ; U_i — множество средств выполнения функции i .

Единицы в ячейках на пересечении строк и столбцов таблицы означают использование того или иного средства для выполнения частной функции в данном варианте технического решения.

Нужно отметить, что морфологический анализ весьма действенный метод. Автор имел возможность убедиться в этом во время занятий по дисциплине «Введение в специальность». Например, на практическом занятии студентам объявлялось: «Сейчас мы будем отыскивать новые технические решения машины для очистки щебеночного балласта железнодорожного пути». Такая постановка задачи вызвала у многих учащихся, а это были студенты первого курса, по меньшей мере недоумение. Какие там новые технические решения, когда и старые-то не известны. И как это можно их отыскивать? Лишь небольшое число студентов, выпускников техникумов, относились к задаче с некоторым пониманием. Им-то и предлагалось обрисовать существующее положение. Они рассказывали своим товарищам, что щебеночный балласт железнодорожного пути придает ему упругие и дренирующие свойства, что со временем пустоты между

частицами щебня заполняются загрязнителями различного происхождения и это повышает жесткость пути и ухудшает дренаж.

Периодически, во время среднего или капитального ремонта пути, балластный слой очищается. В нашей стране, где путевые работы обладают по сравнению с другими странами самым большим объемом и интенсивностью, в настоящее время применяются щебнеочистительные машины, использующие центробежный грохот. Работа его заключается в следующем. Загрязненный щебеночный балласт вырезается и подается на сетчатую ленту, движущуюся по замкнутой криволинейной траектории со скоростью около 10 м/с. Центробежные силы, действующие на перерабатываемый материал, выбрасывают частицы, которые могут пройти через отверстия в сетке, они-то и составляют загрязнители. Очищенный материал вновь укладывают в путь. Работы могут выполняться как с путевой решеткой, так и без нее.

Студенты, выслушав такое сообщение, принимали его к сведению, но новых технических решений не предлагали, полагая задачу с очисткой щебеночного балласта решенной.

Тогда преподаватель дополнял разъяснение. Он говорил, что щебеночный материал обладает высокой абразивностью, в балласте могут быть посторонние включения — валуны, элементы верхнего строения пути (подкладки, костыли и др.), и все это вызывает быстрый износ металлической сетчатой ленты, ее хватает в лучшем случае на 10 км пути. При этом существующие устройства для вырезки загрязненного балласта не могут справиться со всей его толщиной, а это приводит к очистке лишь верхнего слоя балластной призмы. После этого наступало некоторое оживление в аудитории. Стали высказываться предложения: повысить долговечность сетки; заменить ее, например, на резиновую, давались некоторые предложения и по улучшению вырезных устройств. Однако обсуждение не выходило за рамки существующего способа очистки. Вот тогда-то и предлагалось использовать морфологический анализ. Совместно выделялись частные функции щебнеочистительной машины: вырезка щебеночного балласта, перемещение его к месту очистки, очистка, удаление загрязнителя, укладка очищенного щебня в путь, собственное перемещение машины. Составлялась в форме таблицы матрица приемлемости и предлагалось высказать соображения по поводу средств для выполнения частных функций. Вот тут уже активность резко повышалась. Предлагалось, например, вырезку производить потоком сжатого воздуха, потоком жидкости, вообще не вырезать; перемещать к месту очистки — транспортерами, по лотку, в потоке воздуха или жидкости, метанием, вообще не перемещать; очищать — протиркой каждой частицы тряпкой, обдувкой воздухом, промывкой на плоском грохоте, на плоском грохоте с продувкой, отсосом загрязнителей и т. п.;

удалять загрязнитель — транспортером, отбросом, брекетируванием, сжиганием, складированием; укладку очищенного щебня в путь — транспортером, лотком, аэрожелобом; собственное перемещение машины — по рельсам, по обочине, на воздушной подушке, под землей, по воздуху.

После заполнения таблицы оказывалось, что если составлять варианты технического решения путем различных сочетаний способов выполнения частных функций, то их общее число составляет

$$N_{\text{в}} = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (8)$$

где n — число частных функций; K_i — число средств реализации частной функции.

Так, в рассмотренном примере число частных функций равно 6; число средств реализации по первой частной функции (учитываются только названные) — 3; по второй — 6; по третьей — 5; по четвертой — 5; по пятой — 3; по шестой — 5. Подставим в формулу (3) значения n и K_i , найдем $N_{\text{в}} = 6750$.

Конечно, часть из них абсурдна, многие средства выполнения частных функций несовместимы. Однако обычное представление сломлено, появились и интересные варианты. Некоторые из них повторяли уже признанные изобретения, о чем сообщалось студентам. Они восприняли это с удовлетворением.

Вновь обратимся к примеру проектирования устройства для разработки мерзлых грунтов.

В предыдущем разделе определены цели проектирования и основные признаки объекта. Принимаем их как входную информацию для поиска возможных конструктивных решений.

Источники информации. Вопросам разработки мерзлых грунтов посвящены многочисленные статьи в журналах «Строительные и дорожные машины», «Транспортное строительство», «Механизация строительства», «Рационализатор и изобретатель». Многие другие журналы также уделяют внимание этой проблеме. О журнальных публикациях можно узнать по реферативному журналу «Строительные и дорожные машины». Полезную информацию содержат справочники и монографии.

Авторские свидетельства, выданные на изобретения, связанные с разработкой мерзлых грунтов, объединены в классе E02f5/30.

Организация поиска возможных решений. Среди многочисленных способов разработки мерзлых грунтов заметное место занимает крупный скол. Как уже отмечалось (см. раздел 3.4), мерзлый грунт при механическом разрушении в наименьшей степени сопротивляется деформациям растяжения. Скол наиболее близок к этому виду деформации. В настоящее время уже

созданы некоторые виды машин для крупного скола. Не станем останавливаться на их анализе, отметим только, что возможности этого способа далеко не исчерпаны. Крупный скол может производиться как без предварительной подготовки массива, так и с подготовкой нарезанием блоков. Второй метод оказывается более рациональным, так как во-первых, облегчает скол, а во-вторых, четко ограничивает зону разрушения.

Сузим задачу поиска возможных технических решений при разрушении мерзлых грунтов. Ограничимся лишь разработкой вариантов устройства для формирования блоков в массиве мерзлого грунта. Воспользуемся методом составления таблицы приемлемости (табл. 5).

Общая функция проектируемого устройства состоит в расчленении массива мерзлого грунта, подлежащего разработке, на отдельные блоки. Частные функции: разрушение мерзлого грунта по границам блока на глубину промерзания и перемещение устройства. Из сценария известно, что разрушение может быть механическим и термическим. Не исключается и совмещение обоих способов. Рабочими инструментами механического воздействия могут быть: нож, фреза дисковая, фреза кольцевая, бар, винт, клин ударный. Термическое воздействие может производиться: огнем, излучателями (инфракрасными, СВЧ-генераторами), электрическим пробоем (токи промышленной частоты, ТВЧ, конденсаторный).

Перемещаться устройство может на гусеничном или колесном ходу, на салазках, переносом.

Каждый из вариантов (см. табл. 5) технических устройств представляет собой возможное сочетание способов выполнения частных функций. В таблице приведены далеко не все сочетания. Сделано это в учебных целях, чтобы не загромождать последующий анализ. Читатель может при желании разработать новые варианты и сопоставить их в дальнейшем с рассматриваемыми.

Принципиальные схемы устройств (машины, оборудование) для нарезания щелей в мерзлом грунте показаны на рис. 11.

Вариант X_1 весьма прост. Ковш одноковшового экскаватора заменен ножом, которым и нарезаются прорезы в массиве грунта. Подобное рабочее оборудование уже применяется.

Вариант X_2 имеет аналог в виде дискофрезерной машины ДФМ-50.

Вариант X_3 не имеет прямого аналога, однако известна кольцевая фреза для резания камня. В отличие от нее фреза по предлагаемому варианту имеет внутреннее зацепление, передающее вращение диску с резцами. Последний вращается на подшипнике вокруг оси, расположенной внутри неподвижных щек.

Варианты технического устройства для разработки щелей в мерзлом грунте

Разрушение мерзлого грунта						Перемещение устройства				Общая функция γ			
механическое						термическое			колесный движитель u_{11}		гусеничный движитель u_{12}	салазки u_{13}	перенос u_{14}
нож u_{11}	дисковая фреза u_{12}	кольцевая фреза u_{13}	бар u_{14}	винт u_{15}	клин u_{16}	огонь u_{17}	налуча- тель u_{18}	электри- ческая пробой u_{19}					
1										1			X_1
	1									1			X_2
		1							1				X_3
			1						1				X_4
				1					1				X_5
					1					1			X_6
						1						1	X_7
						1					1		X_8
								1				1	X_9
1							1			1			X_{10}
	1					1				1			X_{11}
							1					1	X_{12}

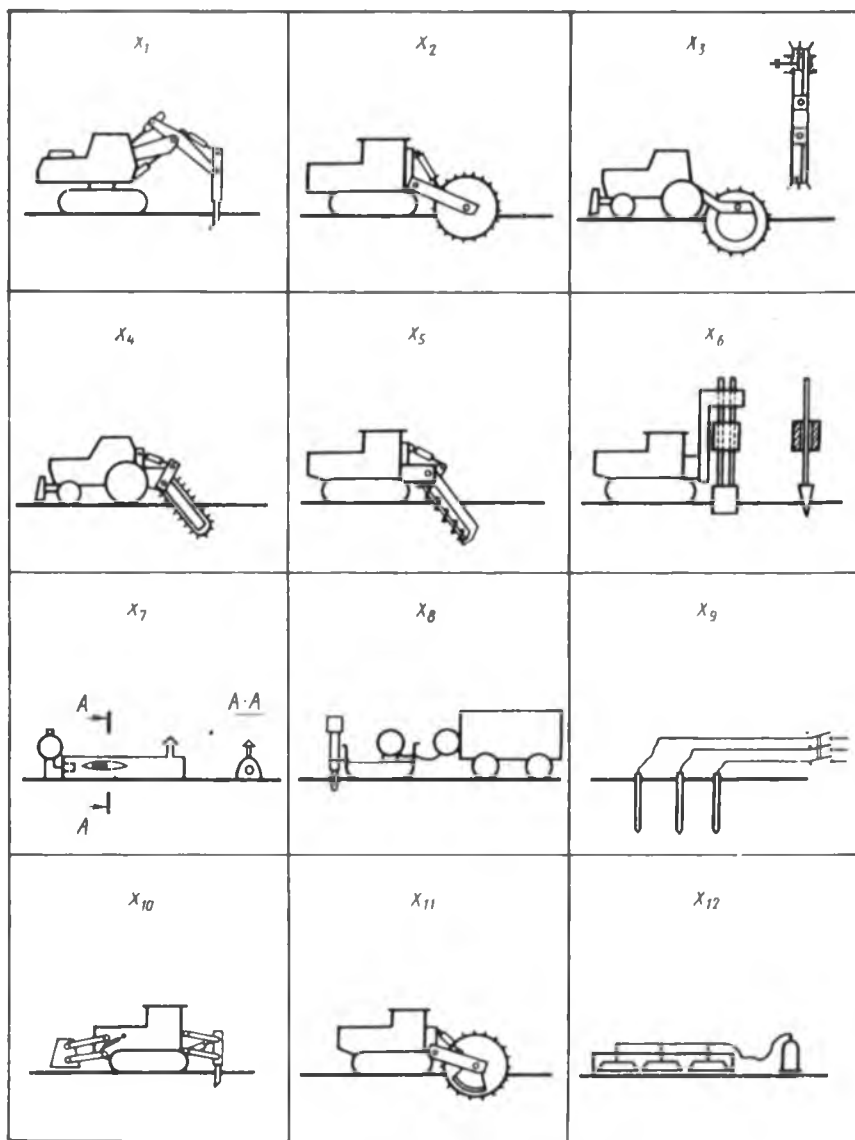


Рис. 11. Варианты устройств и машин для нарезания щелей в мерзлом грунте

X_4 — схема однобарового механизма на базе экскаватора ЭТН-124;

X_5 предполагает разрушение грунта вращающимся шнеком, на винтовой поверхности которого расположены резцы.

Устройство по варианту X_6 разрушает мерзлый грунт клином, периодически перемещаясь вдоль разрабатываемой щели.

X_7 использует оттаивание грунта сжиганием жидкого топлива внутри тепляков.

По варианту X_8 щель разрабатывается термобуром РТБ-В2; в вертикальном направлении термобур перемещается по направляющим; в горизонтальном — на салазках. В схему кроме термобура входит бак с горючим и компрессор.

По X_9 используются электроды, забиваемые в мерзлый грунт по контуру формируемых блоков. На электроды подается электроэнергия от высокочастотного генератора. Происходит диэлектрический пробой с образованием токопроводящего канала. В грунте возникают термические напряжения, приводящие его к местному разрушению.

Варианты X_{10} и X_{11} совмещают послойное термическое разрушение под воздействием сверхвысокочастотного магнитного поля с механическим.

По X_{12} мерзлый грунт разрушается под воздействием инфракрасного излучения.

Основным принципом проектирования процедура поиска технических решений определена как

$$X_0 = \underset{df}{(\chi) (\vee p) | (a, p) \in \Phi \wedge (p, x) \in \Psi \wedge p \in P_0 \wedge a \in A_0 }.$$

Объект проектирования в ходе выполнения процедуры должен получить вначале функциональное, а затем структурное описание. Функциональная модель объекта проектирования включает множество признаков, определяющих взаимодействие системы со средой и правило упорядочения смены состояний в ходе достижения цели. Множество признаков взаимодействия системы со средой эквивалентно множеству частных функций.

Функциональное описание находит отражение во многих литературных источниках.

Ограничимся рассмотрением трех приемов. В работе Ф. Ханзена отмечается, что во всяком техническом устройстве имеется связь между причиной и действием, т. е. существует как минимум одна входная и одна выходная величины, причем их зависимость определяется связью. Связь зависит от ряда постоянных структурных величин и величин управляющих. На этой основе любое техническое решение может быть представлено схемой, приведенной на рис. 12.

На ней в виде прямоугольников обозначены функциональные элементы ρ_c — множество входных величин; Y — множество выходных величин; ρ — множество постоянных структурных величин; Z — множество управляющих величин.

Выделив частные функции, можно построить дифференцированную функциональную схему. В качестве примера на рис. 13 приводится кинематическая и функциональная схемы устройства для регулирования стока. В качестве основных функциональных элементов на схеме отражены: e_1 — резервуар с датчиком; e_2 — преобразующее устройство; e_3 — устройство для стока; e_4 — управляющее устройство.

Входной величиной ρ_c является объем жидкости в резервуаре, выходной Y — расход жидкости на стоке. Выходной величиной функционального элемента e_1 оказывается y_1 — перемещение левого плеча рычага; элемента e_2 — оказывается y_2 — перемещение правого плеча. Постоянные структурные величины: ρ_1 — длина рычага, ρ_2 — жесткость пружин, ρ_3 — площадь рабочей поверхности датчика, ρ_4 — диаметр трубопровода для стока. Управляющей величиной устройства является z — положение опоры рычага. Функциональная схема согласуется

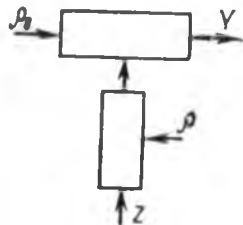


Рис. 12. Функциональная схема любого технического объекта

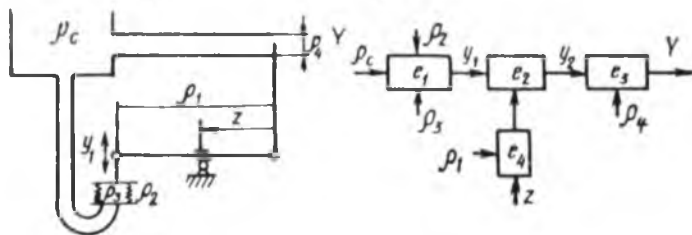


Рис. 13. Кинематическая и функциональная схемы устройства для регулирования стока

с кинематической, содержит столько же элементов, но открывает возможность создания иных устройств путем замены конструктивных исполнений функциональных элементов.

Еще один подход к функциональному описанию находим в работе [1]. В ней отмечается, что в литературе и на практике обычно используются две формы описания функции. Одна из них основывается на модели «черного ящика» и указывает лишь исходное или начальное состояние и конечный результат.

Формула такого представления имеет вид

$$Y = (S^n \rightarrow S^k),$$

где Y — функция рассматриваемой технической системы; S^n — начальное сочетание системы; S^k — конечный результат; $\rightarrow$ — знак, означающий преобразование.

Вторая форма, называемая естественной, кроме уже названных компонент включает условия и ограничения.

Формула естественного представления имеет вид

$$Y = [(S^n \rightarrow S^k), H],$$

где H — описание особых условий и ограничений.

Естественную форму представляют в виде трех компонент

$$Y = (D, G, H),$$

где D — указание действия, производимого технической системой, приводящего к желаемому результату; G — указание объекта (объектов), на который направлено действие.

Например, функциональное описание ленточного транспортера в естественной форме выражается предложением: «Транспортировка между двумя точками в пространстве штучных или (и) сыпучих грузов при угле наклона между точками не более 20° ». В этом предложении можно выделить все три компонента описания: D — «транспортировка между двумя точками в пространстве»; G — «штучных или (и) сыпучих грузов»; H — «при угле наклона между точками не более 20° ».

Под приведенное функциональное описание могут подойти и другие технические системы, такие, как, например, автотранспорт, пневмотранспорт, гужевой транспорт и др.

Для конкретизации объекта необходимо увеличить число условий и ограничений. Так, для однозначного описания функции ленточного транспортера H следует пополнить указание на то, что транспортировка грузов происходит непрерывно движущейся лентой.

Естественное описание функции технической системы с выделением трех основных компонент удобно и для автоматизированного поиска технических решений. В указаниях действия (D), объекта (G) и особых условиях (H) можно выделить ключевые слова, по которым произойдет обращение к банку данных и информационно-поисковая система выдаст по ним варианты технических решений. Так в последнем примере в качестве ключевых слов можно выделить «транспортирование»; в G — «грузов»; в H — «наклон не более 20° ». По таким ключевым словам информационно-поисковая система выдаст ряд технических решений. Если же в H включить дополнительное ключевое слово «лента», то область технических систем сузится до ленточных

транспортеров, но и здесь могут быть несколько вариантов, отличающихся конструкцией ленты, привода, приводного и натяжного барабана, рамы и т. д.

Нужно отметить, что и действие (D), и объекты (G) в функциональном описании могут быть не единственными и объединенными логическими связями — конъюнкцией и дизъюнкцией.

Например, функциональное описание машины для нарезаний щелей в мерзлом грунте может быть представлено с использованием ЯГТИ в виде:

$$Y :: = \langle \text{разрушение} \rangle \mid \langle \text{разрушение} \rangle \langle \text{удаление} \rangle, \\ \langle \text{мерзлый грунт} \rangle, \langle \text{узкая щель} \rangle.$$

Функциональный анализ — основа методики ФСА [8]. В ней находим классификацию функций любой технической системы.

Выделяются четыре уровня:

I — общесистемные функции (главные и вспомогательные);

II — вспомогательные основные функции;

III, IV — внутренние вспомогательные функции.

Успешно функционирующая система отвечает принципам:

совместности функций;

актуальности функций;

сосредоточения функций;

гибкости (управляемости) функций.

По этим принципам должны контролироваться разрабатываемые функциональные модели, которые рекомендуется строить в виде графа, ориентированного на указанные выше уровни.

Направление совершенствования функциональной модели связано с сокращением числа функций и увеличением их гибкости. Проверка функциональной модели на правильность группировки и распределения функций по видам может быть выполнена по методу, базирующемуся на применении детерминированной логики и использующему построение диаграмм функций, напоминающих сетевые графики.

По функциональному описанию строится структурное, включающее множество элементов, множество признаков, характеризующих элементы, множество связей между элементами. Для всего этого требуется база данных, логическая организация которых была бы подобна Указателю механизмов в семитомном справочном пособии И. И. Артоболевского [10]. Указатель связывает функциональное назначение механизмов с их структурно-конструктивными признаками.

Элементы и множество связей между ними и их признаками могут быть представлены в форме графа, носящего название И-ИЛИдерева [1]. На нем в виде вершин изображаются структурные элементы, в качестве которых могут быть узлы, детали, части деталей. На этом же графе рядом со структурной верши-

ной изображаются вершины признаков. Вершины могут быть двух видов И и ИЛИ. На графе они имеют разное обозначение. Дуги графа означают связи между структурными элементами. И-ИЛИдерево может относиться как к одной конкретной технической системе, так и к целой их совокупности. В последнем случае каждой технической системе соответствует конкретный путь от основания дерева к его вершинам.

И-ИЛИдерево — удобное средство представления всего множества технических решений и выбора по нему элементов, отвечающих требуемым признакам. Однако его построение связано с большой подготовительной работой.

4.2. Принятие решения

Переходя к этапу проектирования, названному принятием решения, конструктор располагает некоторыми вариантами технического решения. Теперь ему нужно выбрать лучший из них, или, как еще говорят, оптимальный. С подобными задачами встречаются не только при проектировании. Выбор того или иного действия из множества вариантов — ситуация, свойственная любой деятельности человека. В каждом случае ему нужно вначале дать оценку вариантам, затем эти оценки сравнить и только после этого выбрать вариант с наивысшей оценкой.

Руководствуясь основным принципом проектирования, эта процедура отвечает отражению множества вариантов технического решения на множество оценок и выбор оптимального из них:

$$(F : X_0 \rightarrow V) \rightarrow \text{opt.}$$

Выполнить процедуру принятия решений было бы просто, если бы все варианты можно было измерить по одной шкале. Однако в действительности каждый вариант характеризуется многими измерениями. Кроме того, не всегда можно воспользоваться абсолютной шкалой. Варианты технического решения представлены пока лишь принципиальной (структурной) схемой, и дать количественную оценку даже таким свойствам объекта, как масса, производительность, стоимость, — сложно. Еще сложнее обстоит дело с оценкой надежности, эргономичности, эстетичности. Попытка уточнить количественные оценки по варианту технического решения приведут, по существу, к последующей его разработке, а это связано с трудовыми и временными расходами. Вот и приходится принимать решение в условиях неопределенности. И это еще не все. Сравнивать варианты зачастую приходится по многим их признакам, т. е. пользоваться несколькими шкалами. Причем по одной шкале лучшими оказываются одни варианты, по другим — иные.

И еще одно обстоятельство. Признаки, используемые для сравнения, неравнозначны: одни более важны, другие — менее. Некоторые из них противоречивы.

Охарактеризуем теперь общую постановку решаемой задачи.

1. Каждый вариант технического решения характеризуется некоторыми параметрами:

$$\rho_j, j = \overline{1, n}.$$

2. Оценку вариантов производят по совокупности критериев:

$$V = \{v_i\}, i = \overline{1, m}.$$

3. В качестве критериев выбираются признаки, отвечающие наиболее важным целям проектирования.

В такой постановке принятие решения примыкает к задачам многокритериальной оптимизации.

Особенность таких задач состоит в том, что одновременное достижение оптимума по всем критериям практически невозможно. Приходится идти на компромисс. В одних случаях он просто связан с уравниванием критериев, в других с выбором из них главного.

Компромисс упрощает решение задачи, сводя ее в некоторых случаях к однокритериальной.

Схемы компромиссов могут строиться на основе следующих принципов [62]: равномерности; справедливой уступки; выделения главного критерия; последовательной уступки.

Принцип равномерности может требовать:

1) равенства всех критериев

$$\begin{aligned} \text{opt } V = \text{opt } V = \{\bar{v}_1 = \bar{v}_2 = \dots = \bar{v}_k\} \in \Omega_V^k, \\ V \in \Omega_V \quad V \in \Omega_V^k \end{aligned}$$

где Ω_V — означает отображение области возможных технических решений в пространстве $\underline{V}$; Ω_V^k — подмножество критериев, связанных с компромиссом; $\bar{v}_k$ — оптимальное значение элемента множества критериев;

2) «подтягивания» наихудшего из критериев

$$\begin{aligned} \text{opt } V = \max \min v_i; \\ V \in \Omega_V^k \end{aligned}$$

3) квазиравенства критериев, т. е. равенства с допустимой погрешностью.

Возможны и некоторые другие условия равномерности.

Принцип справедливой уступки требует или абсолютной, или относительной уступки. Абсолютная уступка считается справедливой, если суммарный абсолютный уровень снижения одного

или нескольких критериев не превосходит суммарного абсолютного уровня повышения других критериев. Это условие обеспечивает максимальную сумму критериев, т. е.

$$\text{opt } V = \max \sum_{i=1}^k v_i.$$

$$V \in \Omega_V^k$$

Относительная уступка обеспечивает справедливый компромисс, если суммарный относительный уровень снижения качества одного или нескольких критериев не превосходит суммарного относительного уровня повышения качества по остальным критериям. Оптимальное по данной схеме компромисса решение таково, что переход от него к любому другому приводит к отрицательной или равной нулю суммарной относительной уступке:

$$\Delta_{\text{отн}} = \sum_{i=1}^k \frac{v_i - \bar{v}_i}{v_i} \leq 0,$$

где $\Delta_{\text{отн}}$ — суммарная относительная уступка.

В теории принятия решений доказывается, что для оптимального решения, найденного по схеме суммарной относительной уступки, мультипликативная функция $f_m = \prod_{i=1}^k \bar{v}_i$ достигает максимума на области возможных компромиссных решений. На этом основании принцип относительности имеет вид

$$\text{opt } V = \max \prod_{i=1}^k v_i.$$

$$V \in \Omega_V^k$$

Принцип выделения главного критерия сводит многокритериальную задачу к однокритериальной. Оптимизация происходит по главному критерию, на все остальные накладывается ограничение

$$\text{opt } V = \max v_1;$$

$$v_1 \in \Omega_V^1$$

$$v_i \geq v_i^3, \quad i = 2, k,$$

где Ω_V^3 — область заданных значений критериев.

Принцип последовательной уступки позволяет отыскать оптимальное решение, отвечающее достижению максимума по всем критериям, размещенным в ранжированной последовательности по степени их важности. Отыскание оптимального решения начинается с учета первого по важности критерия. Затем с учетом практических соображений и точности, с которой заданы исход-

ные данные, назначается «уступка» по первому критерию Δv_1 . В пределах $\bar{v}_1 - \Delta v_1$, где $\bar{v}_1$ — максимально возможное значение v_1 , находится решение, отвечающее максимуму по второму критерию. Дальнейшие шаги состоят в «уступке» по второму и последующим критериям. В итоге находится компромиссное решение, у которого все критерии достигают максимума или находятся вблизи него, не выходя за пределы, установленные «уступкой» области. Если по условиям задачи нужно минимизировать тот или иной критерий, то, не нарушая общности, можно изменить его знак.

Решение многокритериальной задачи осложняется различием единиц измерения критериев. Исключение составляет принятие решения на основе принципа суммарной относительной уступки, где оперируют с относительными величинами, являющимися безразмерными. Во всех других случаях стремятся нормализовать критерии, что также связано с переходом к относительным показателям. Нормализованный вектор критериев имеет безразмерные компоненты, получаемые путем деления компонент рассматриваемого вектора на соответствующие компоненты некоторого идеального вектора:

$$V^n = \{v_i^n\} = \left\{ \frac{v_i}{v_i^n} \right\}, \quad i = \overline{1, k},$$

где V^n — нормализованный вектор критериев; v_i^n — компоненты идеального вектора.

«Идеальный» вектор критериев может составляться по заданным или желаемым значениям его компонент:

$$V^n = V^3 = \{v_i^3\}, \quad i = \overline{1, k},$$

где v_i^3 — заданное значение компонент.

За компоненты вектора могут быть также приняты их возможные максимальные значения:

$$V^n = \{\max v_i\}, \quad i = \overline{1, k}.$$

$$v_i \in \Omega_V^k$$

Иногда за компоненты идеального вектора принимают максимально возможный разброс по каждому локальному критерию:

$$v_i^n = \max v_i - \min v_i.$$

$$v_i \in \Omega_V^k$$

Возможны и другие способы выбора идеального вектора критериев. Как уже отмечалось, одной из основных проблем решения многокритериальной задачи является проблема приоритета локальных критериев. На первом этапе критерии можно разместить в ряд по степени их важности. Здесь используется шка-

ла порядка. На основании ряда строится вектор приоритета $c_n = (c_1, c_2, \dots, c_k)$, компоненты которого означают степень превосходства двух соседних критериев. Построение вектора приоритета использует шкалу интервалов. Удобно начинать с последней компоненты, приравняв ее единице. Все остальные компоненты оказываются равными или большими единицы. По ряду и вектору приоритета строится весовой вектор. Компоненты его удовлетворяют условию

$$\begin{cases} 0 \leq \lambda_i \leq 1, i \in \overline{1, k}; \\ \sum_{i=1}^k \lambda_i = 1. \end{cases} \quad (9)$$

В [62] доказывается, что условие (9) будет выдержано, если компоненты весового вектора найти по формуле

$$\lambda_i = \frac{\prod_{l=q}^k c_l}{\sum_{i=1}^k \prod_{j=q}^k c_j}$$

Компоненты весового вектора могут быть найдены и с применением нормирующей функции [21]:

$$\lambda_i = \frac{\frac{i}{2^{i-1}}}{\sum_{i=1}^k \frac{i}{2^{i-1}}}. \quad (10)$$

Выбор оптимального конструктивного решения в условиях многокритериальной задачи удобнее всего производить с использованием так называемой матрицы решений [66] на основе компромисса, построенного по принципу справедливой уступки (рис. 14). В верхней строке матрицы размещаются критерии с указанием веса каждого из них. В левом столбце — номера вариантов. Ячейки матрицы разбиваются на две части. В верхней дается оценка варианта по каждому локальному критерию. В нижней — произведение оценки на весовой коэффициент.

Оценку вариантов можно выполнять попарным сравнением. Для этого все варианты рассматриваются последовательно по каждому критерию. Вначале отыскивается лучший вариант. Ему приписывается оценка 10. Затем с ним сравниваются все остальные. При этом множестве оценок $\{1, 2, \dots, 10\}$ используется как шкала интервалов. Проще всего производить сравнение, когда параметры вариантов имеют числовое значение. Когда же этого нет, следует руководствоваться опытом и интуицией. Для более обоснованных оценок можно воспользоваться экспертным мето-

дом. Для сравнения вариантов оказывается удобной и ГОТ (см. табл. 2). Критерии рассматриваются как характеристики, позиции соответствуют оценкам технического решения по каждому критерию.

$X \backslash \begin{matrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_2 \\ \bar{v}_3 \end{matrix}$	$\bar{v}_1$	$\bar{v}_2$	$\bar{v}_3$		$\bar{v}_k$	$\sum_{i=1}^k \bar{v}_i \lambda_i$	Место
x_1	$\bar{v}_1 \lambda_1$	$\bar{v}_2 \lambda_2$	$\bar{v}_3 \lambda_3$		$\bar{v}_k \lambda_k$		
x_2							
x_3							
x_{m-1}							
x_m							

Рис. 14. Матрица решений при выборе оптимального варианта технического решения

Оптимальным вариантом при отыскании его по матрице решений будет тот, который отвечает условию

$$\bar{x} = \max_{i=1}^k v_i^0 \lambda_i;$$

$$\bar{x} \in X \quad v_i^0 \in \{1, 2 \dots 10\},$$

где v_i^0 — оценка варианта по i -критерию.

При отыскании оптимального решения по ГОТ

$$\bar{x} = \max \tau;$$

$$\bar{x} \in X.$$

Зачастую получается так, что оптимальными оказываются несколько вариантов. Это имеет место или в случае действительной равнозначности вариантов, или в результате погрешностей в оценке параметров. Нельзя отбрасывать и те варианты, которые близки к оптимальным. В связи с этим возникает задача более уточненной оценки вариантов, требующая дополнительной информации. Получить ее можно в результате определенных

исследований и дальнейших проектных проработок. Наиболее точная оценка может быть получена при разработке по каждому варианту рабочей документации и изготовлении опытного образца. Все это связано со значительными затратами времени и трудовых ресурсов. Задача оценки параметров относится к области статистических решений, а точнее, к статистическим играм с последовательными экспериментами. Решение такой задачи в общем виде применительно к проектированию еще не получено. Руководитель проекта в настоящее время принимает решение о дальнейшей разработке вариантов на основании собственного опыта и интуиции.

Выбранный вариант технического решения окончательно оценивается по критерию народнохозяйственной экономичности.

На уровне интересов государства оптимальным вариантом технического решения будет тот, который обеспечивает снижение стоимости совокупной общественной продукции [69]:

$$\sum_{j=1}^{Z_n} Q_j G_{\tau j} \rightarrow \min,$$

где Z_n — количество типоразмеров конечной совокупности общественной продукции; Q_j — объем производства продукции j -го вида; $G_{\tau j}$ — индивидуальная стоимость единицы продукции.

Создание новых орудий требует дополнительных капиталовложений, которые берутся из фонда накопления. Направляя определенную часть ресурсов из фонда на создание и внедрение новых средств для получения нужной продукции в ту или иную область народного хозяйства, необходимо быть уверенным, что экономия на затратах в этой области будет больше, чем неполучаемая экономия в других областях, куда эти ресурсы не поступают. В этом и состоит критерий сравнительной народнохозяйственной экономичности сопоставимых вариантов. Мерой соответствия этому критерию выступают определенные показатели, которые по своей структуре могут быть частными и обобщенными. В качестве частных показателей используются: снижение трудоемкости продукции или рост производительности труда, высвобождение рабочих, снижение материалоемкости и энергоемкости. В качестве обобщенного показателя используются приведенные народнохозяйственные затраты. Экономический эффект от производства и использования новых средств труда длительного применения за срок их службы с учетом морального износа рекомендуется определять по формуле

$$\Xi = \left[3_1 \frac{B_{\Gamma_1}}{B_{\Gamma_1}} \cdot \frac{P_{A_1} + E_H}{P_{A_1} + E_H} + \frac{(H'_1 - H'_2) - E_H (K'_2 - K'_1)}{P_{A_1} + E_H} - 3_2 \right] A_{\Gamma_1},$$

где Z_1, Z_2 — приведенные затраты, обусловленные производством базового (существующего) и нового средств (руб.ед.); B_{Γ}, B_{Γ} — годовые объемы работ при использовании базового и нового средств в натуральных единицах; P_{A1}, P_{A2} — доли амортизационных отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление базового и нового средств (определяется как величина обратная сроку службы средства с учетом их морального старения); E_n — нормативный коэффициент эффективности; I_1^*, I_2^* — годовые эксплуатационные издержки потребителя при использовании базового и нового средств; K_1^*, K_2^* — капитальные вложения потребителя при использовании базового и нового средств в расчете на объем работ, производимых с помощью нового средства; A_{Γ} — годовой объем производства новых средств.

При сравнении вариантов конструктивных решений предпочтение отдается тому из них, который обладает большим значением ожидаемого экономического эффекта.

Обратимся к примеру принятия решения при проектировании устройства для разработки мерзлых грунтов.

В качестве критериев используем основные признаки объекта проектирования.

Ранжирование критериев произведено с учетом важности связанных с ними целей проектирования: v_1 — производительность устройства; v_2 — расход энергии; v_3 — затраты на проектирование, подготовку производства и изготовление; v_4 — эксплуатационные расходы; v_5 — степень новизны устройства; v_6 — срок проектирования и изготовления; v_7 — трудоемкость управления и обслуживания устройств; v_8 — условия труда; v_9 — надежность устройства; v_{10} — возможность изготовления своими силами.

Используя оценки компонент весового вектора нормирующую функцию (10), получим $c_n = 0,25; 0,25; 0,18; 0,13; 0,08; 0,05; 0,032; 0,015; 0,008; 0,005$.

Матрица решений приведена на рис. 15.

Наиболее производительными устройствами можно считать те, которые производят непрерывное резание и перемещение разрушенной породы на поверхность массива. К таким устройствам относятся $X_5, X_2, X_3, X_4, X_{11}$. Указанным вариантам поставлена оценка 10, всем остальным установлены оценки на основании попарных сравнений. По расходу энергии наибольшую оценку заслуживают варианты, обеспечивающие разрушение мерзлого грунта в минимально необходимом для щели объеме. К таким вариантам следует отнести X_2, X_3 .

Наиболее надежными можно считать устройства, производящие оттаивание мерзлого грунта. Это варианты X_7, X_9, X_{12} .

Устройства механического разрушения обладают приблизительно одинаковой надежностью. Наименьшие затраты связаны

с вариантами, представляющими собой уже существующие устройства $X_1, X_2, X_4, X_7, X_9, X_{12}$.

Наибольшей новизной отличаются устройства X_3, X_5, X_{10}, X_{11} .

По срокам проектирования и изготовления предпочтение следует отдать вариантам, имеющим прямой аналог $X_1, X_2, X_4, X_6, X_7, X_9, X_{12}$. Наименьшей трудоемкостью в управлении и обслуживании обладают устройства непрерывного резания X_2, X_3, X_4, X_5 .

Они же отвечают лучшим условиям труда. Варианты X_{10}, X_{11} связаны с использованием СВЧ магнитного поля, что небезопасно для обслуживающего персонала.

$\begin{matrix} U_i \\ X \end{matrix}$	U_1 λ_i	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}	$\sum U_i^0 \lambda_i$	Место
X_1	0 1,0	5 1,25	8 1,44	10 1,5	5 0,4	10 0,5	7 0,22	7 0,105	10 0,08	10 0,05	0,849	6
X_2	10 2,5	10 2,5	8 1,44	10 1,5	5 0,4	10 0,5	10 0,22	10 0,15	8 0,08	10 0,05	9,224	2
X_3	10 2,5	10 2,5	8 1,44	8 1,04	10 0,8	10 0,5	10 0,22	10 0,15	8 0,064	10 0,05	9,384	1
X_4	10 2,5	9 2,25	8 1,44	10 1,5	5 0,4	10 0,5	10 0,22	10 0,15	8 0,064	10 0,05	9,224	2
X_5	10 2,5	8 2,0	8 1,44	8 1,04	10 0,8	10 0,4	10 0,22	10 0,15	8 0,064	10 0,05	8,764	3
X_6	5 1,25	5 1,25	8 1,44	9 1,17	6 0,48	10 0,5	7 0,27	7 0,105	10 0,08	10 0,05	6,549	5
X_7	4 1,0	4 1,0	10 1,0	10 1,5	5 0,4	10 0,5	7 0,22	7 0,105	5 0,04	10 0,05	6,419	6
X_8	8 2,0	5 1,25	7 1,26	8 1,04	7 0,56	10 0,5	6 0,12	6 0,09	5 0,04	10 0,05	6,982	4
X_9	4 1,0	4 1,0	10 1,0	10 1,5	5 0,4	10 0,5	6 0,12	8 0,12	5 0,04	10 0,05	6,402	7
X_{10}	8 2,0	7 1,75	6 1,08	6 0,68	10 0,8	7 0,55	5 0,16	5 0,075	5 0,04	5 0,05	6,585	8
X_{11}	10 2,5	7 1,75	7 1,26	5 0,62	10 0,8	6 0,5	5 0,16	5 0,075	5 0,04	5 0,05	6,975	5
X_{12}	4 1,0	4 1,0	10 1,0	10 1,5	5 0,4	10 0,5	7 0,22	7 0,105	5 0,04	10 0,05	6,419	6

Рис. 15. Матрица решений при выборе варианта технического решения машины для нарезания щелей в мерзлом грунте

Наименьшим эксплуатационным расходам отвечают варианты X_2 , X_3 , X_4 , X_5 . Все другие устройства механического разрушения требуют периодической замены резцов. Технические решения, построенные на термическом и термомеханическом разрушении, связаны со значительным эксплуатационным расходом на топливо и электроэнергию.

С точки зрения возможности изготовления силами заказчика все варианты, кроме X_{10} , X_{11} , приблизительно равнозначны.

Как следует из рис. 15, первое место занял вариант X_3 . Близкими к нему оказались варианты X_2 и X_4 , причем X_4 представляет собой существующую машину. Его необходимо сопоставить с X_3 по показателю экономического эффекта. Преимущество конструкции по варианту X_3 в сравнении с X_4 состоит в следующем:

возможно создание рабочего оборудования для разработки более узкой щели, что влечет уменьшение энергоемкости на единицу длины прорези;

в конструкции рабочего оборудования по варианту X_3 нет цепи, перемещаемой звездочками в грунтовой абразивной среде, что обеспечивает большую надежность и к. п. д.;

фреза при полном заглублении, испытывает прижатие к забою, что повышает сцепление с грунтом движителей машины, увеличивает силу тяги.

На этапе принятия решения еще не известны окончательные параметры нового технического устройства. Экономическое сравнение имеет приближенный характер. Но оно ориентирует конструктора на последующих этапах проектирования в выборе технических решений по составляющим узлам, позволяет использовать при этом ФСА.

При проектировании сложных технических систем, обладающих большим числом частных функций и средств их реализации, особенно с использованием формальных методов (например, таблицы приемлемости), может возникнуть ситуация, при которой анализ каждого из вариантов на соответствие целям проектирования становится практически неосуществимым. Так, если система обладает 10 частными функциями и каждая из них может быть реализована 5 средствами, то по формуле (8) общее число вариантов составит $5^{10} = 9\,765\,625$.

В таких условиях даже использование ЭВМ займет весьма большое время, причем полезная его часть намного меньше общего, так как подавляющее большинство вариантов или просто абсурдны, или по своим признакам явно выходят за рамки допустимых решений.

Для сокращения операции анализа можно предварительным просмотром исключить из таблицы абсурдные варианты, но и это весьма трудоемко, если общее число возможных технических решений, как в приведенном примере, приближается к 10 млн.

Возникает задача вычислительной оценки с предварительным исключением абсурдных и неконкурентоспособных вариантов. Методы решения такой задачи находим, например, в [45]. В основу их положен принцип представления процесса решения в виде многоступенчатой структуры. Каждая ступень связана с проверкой наличия тех или иных свойств у подмножества вариантов, по которым либо непосредственно сокращается исходное множество, либо подготавливается возможность такого сокращения в будущем. Одним из правил отсева бесперспективных вариантов является принцип монотонной рекурсивности, применяемой для решения задач дискретной оптимизации при пошаговом конструировании вариантов.

Назовем управляющим воздействием выбор того или иного средства для реализации i -й частной функции. Управляющие воздействия дискретны и составляют конечное множество

$$U_i = \{u_{ij}\}, \quad j = \overline{1, k_n}.$$

Полное множество решений составляет декартово произведение множеств:

$$X = \prod_{i=1}^n U_i.$$

Количество элементов множества X определяется числом

$$N = \prod_{i=1}^n k_i.$$

Каждый из них представляет возможное техническое решение

$$x_i = \{u_{1(k_1)}, \dots, u_{i(k_i)}, \dots, u_{n(k_n)}\}.$$

Пусть $\bar{x}_i \in X$ является оптимальным техническим решением, т. е. отвечает минимуму целевой функции

$$\min f(u_{1(k_1)}, \dots, u_{i(k_i)}, \dots, u_{n(k_n)}), \quad (11)$$

при ограничениях

$$g_p(u_{1(k_1)}, \dots, u_{i(k_i)}, \dots, u_{n(k_n)}) \leq g_p^*, \quad (12)$$

где $f, g_p (p = 1, 2, \dots, q)$ — произвольные функции дискретного аргумента.

Возможные решения будем считать допустимыми, если они удовлетворяют условию (12).

Введем в рассмотрение вектор

$$x_{(s)} = \{u_{1(k_1)}, \dots, u_{s(k_s)}\}, \quad s \leq n$$

и назовем его s -частичным решением, включающим часть функциональных элементов. Если $s=n$, получим «полное» решение. Частичное решение, которое можно достроить до допустимого полного решения, назовем допустимым частичным решением.

Пошаговым конструированием будет считаться процесс поэтапной достройки частичных решений до полных с проверкой на каждой стадии (шаге) условий ограничения (12) и определением значений целевой функции.

Такая проверка и сравнение производятся с помощью тестов.

Итак, задача пошагового конструирования на основе матрицы приемлемости сводится к выбору целевой функции (11), функции ограничений (12), правила отбора частных решений и набора тестов σ , осуществляющих отсев частичных решений, которые не могут быть достроены до оптимальных. В набор σ входят тесты анализа допустимых решений и сравнения решений по значению целевой функции.

Вычислительная процедура последовательного анализа и отсева вариантов может быть еще более сокращена при использовании метода, исключающего необходимость построения начальной части вариантов и их дальнейшего развития. В нем производится пошаговый отсев вариантов по каждому из ограничений. Алгоритм выполнения такого метода и область его возможного применения можно найти в [45].

Оба из упомянутых вычислительных методов решают однокритериальную задачу. Поэтому для их использования предварительно следует, воспользовавшись компромиссом, выделить главный критерий, а остальные отнести в разряд ограничений.

4.3. Анализ принятого решения

На входе этапа проектирования, связанного с анализом принятых решений, имеется одна или несколько принципиальных схем, признанных наиболее рациональными. На выходе должно быть заключение о работоспособности рассматриваемых вариантов и выводы о взаимной зависимости основных параметров. Если предлагаемое решение оформлено в виде кинематической схемы, анализ можно проводить по строгой методике. Прежде всего следует найти степень подвижности механизмов [9], по которой можно судить о работоспособности. Кинематический анализ позволит найти скорости и ускорения всех звеньев по заданным параметрам движения ведущего звена. Весьма полезным оказывается и динамический анализ. Для этого составляют уравнения движения объекта в форме:

- кинетической энергии;
- дифференциальных уравнений;
- уравнений Лагранжа второго рода.

Уравнение движения позволит определить законы движения всех звеньев при различном характере нагрузки.

Сложнее проводить анализ технического решения, представленного принципиальной схемой, по которой нельзя с полной определенностью судить о взаимодействии всех элементов. Нередко поведение сложной системы изучается методом эмпатии, когда проектировщик как бы вживается в роль технического устройства и пытается предугадать его реакцию на различные воздействия. Действенным методом анализа оказывается и моделирование [5, 11, 31, 56].

Оно представляет собой метод исследования сложных явлений и процессов. В широком понимании моделирование охватывает все этапы проектирования—от выбора целей до разработки рабочей документации. В более узком смысле к моделированию будем относить создание физических и математических моделей на стадии анализа принятого решения и выбора параметров машины.

Физическая модель строится на тех же физических принципах, что и изучаемый натурный процесс или объект. Математическое моделирование использует аналогию в дифференциальных уравнениях, описывающих различные по своей природе явления.

Физическое моделирование связано с созданием модели, математическое — выполняется на ЭВМ.

Физическое моделирование, как правило, более трудоемко, однако оно нагляднее и, кроме того, может быть использовано в тех случаях, когда трудно дать достаточно полное математическое описание. Часто физическое моделирование предшествует математическому. Некоторые сложные системы исследуются на комбинированных моделях, включающих физические модели для одних подсистем и математические для других.

На этапе анализа принятого решения в подавляющем большинстве случаев еще не известен характер взаимодействия отдельных элементов объекта друг с другом и с перерабатываемым материалом. Здесь наиболее рациональным оказывается метод физического моделирования.

В основе моделирования лежит теория подобия. Ее становлению послужили работы Ньютона, Фурье, Бертрана, Коши, Жуковского Н. Е., Крылова А. Н., Кирпичева М. В., Седова Л. И., Горячкина В. П. и др.

Не станем подробно останавливаться на теоретических предпосылках моделирования. Обратимся к практической стороне дела.

Для создания физической модели объекта или его отдельной подсистемы необходимо знать коэффициенты подобия. Некоторыми из них можно задаться, другие определяются из условий подобия. Две физические системы считаются подобными, если

их соответствующие обобщенные координаты в сходственных точках пространства (в сходственные моменты времени) пропорциональны.

Необходимое условие подобия двух систем вытекает из первой теоремы подобия, которая гласит, что если две системы подобны, то равны их критерии подобия, составленные из обобщенных координат и параметров. Под критериями подобия понимаются безразмерные отношения, составленные из размерных величин, характеризующих систему. Например, из таких величин, как скорость v , путь l и время t , можно составить безразмерное отношение: $\frac{vt}{l}$.

Действительно, размерность этого отношения после подстановки в него размерностей величин, выраженных через основные единицы измерений, равна единице:

$$\left[\frac{vt}{l} \right] = \frac{[L] [T^{-1}] [T]}{[L]} = 1.$$

В теории подобия (см., например, [63]) доказывается, что из n размерных величин можно составить $(n-m)$ независимых критериев подобия. Под m обозначено число величин, принятых за первичные единицы измерения. В качестве первичных могут выступать как основные единицы измерения (для механических систем это: масса — M , длина — L , время — T), так и любой другой набор величин, отвечающий следующим условиям:

1) размерности первичных единиц должны быть независимыми функциями основных;

2) возможно однозначное обратное преобразование, при котором основные единицы измерения единственным образом можно выразить через первичные.

Необходимым и достаточным условием первичности выбранного набора единиц измерений оказывается отличие от нуля определителя, составленного из показателей степеней у основных единиц измерения, выражающих рассматриваемые. Так, например, единицы измерения u_1 , u_2 , u_3 будут первичными, если составленный из

$$[u_1] = [M]^{\mu_1} [L]^{\lambda_1} [T]^{\tau_1},$$

$$[u_2] = [M]^{\mu_2} [L]^{\lambda_2} [T]^{\tau_2},$$

$$[u_3] = [M]^{\mu_3} [L]^{\lambda_3} [T]^{\tau_3}$$

определитель отличен от нуля, т. е.

$$\Delta = \begin{vmatrix} \mu_1 & \lambda_1 & \tau_1 \\ \mu_2 & \lambda_2 & \tau_2 \\ \mu_3 & \lambda_3 & \tau_3 \end{vmatrix} \neq 0. \quad (13)$$

Существует несколько методов определения независимых критериев. Рассмотрим два из них. Первый не требует описания моделируемой системы в форме уравнений, второй построен на использовании функциональной зависимости между величинами, характеризующими систему.

Допустим, что моделируемый объект представляет собой механическую систему и определяется множеством параметров, в числе которых и обобщенные координаты: $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$. Размерности величин, входящих в множество, выражаются через основные единицы измерения. Кроме того, среди множества могут быть безразмерные параметры, например коэффициент трения перемещаемого материала о рабочий орган или угол резания грунта отвалом и т. п. Безразмерные параметры сразу же относим к числу критериев подобия. Из оставшихся выбираем величины, размерности которых, в случае удовлетворения условий (13), считаются первичными. Число таких величин должно быть равно числу основных единиц измерений, используемых в выражениях размерностей рассматриваемого множества величин. Используя три основные единицы измерения, в качестве первичных выбираем, например, ρ_1, ρ_2, ρ_3 (полагаем, что условие первичности для них выполнено).

Разделим почленно все оставшиеся размерные величины на произведение $\rho_1^\alpha \rho_2^\beta \rho_3^\gamma$ и отыщем значения показателей степеней, при которых полученные отношения окажутся безразмерными.

Рассмотрим, к примеру, отношение

$$\frac{\rho_4}{\rho_1^\alpha \rho_2^\beta \rho_3^\gamma}.$$

Выразим размерность этого отношения через основные единицы измерения:

$$\begin{aligned} \frac{\rho_4}{\rho_1^\alpha \rho_2^\beta \rho_3^\gamma} &= \frac{[M]^{\mu_4} [L]^{\lambda_4} [T]^{\tau_4}}{[M]^{(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)\alpha} [L]^{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)\beta} [T]^{(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)\gamma}} = \\ &= [M]^{\mu_4 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)\alpha} [L]^{\lambda_4 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)\beta} [T]^{\tau_4 - (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)\gamma}. \end{aligned}$$

Для того чтобы рассматриваемое отношение было безразмерным, приравняем к нулю показатели степени у основных единиц измерения. Получим систему

$$\begin{cases} \mu_4 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)\alpha = 0, \\ \lambda_4 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)\beta = 0, \\ \tau_4 - (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)\gamma = 0. \end{cases}$$

Из решения системы найдем α, β, γ , подставив которые в рассматриваемое отношение, получим критерий подобия. Поступая таким же образом с другими отношениями, получим все остальные критерии подобия.

Вторая теорема подобия (π -теорема) утверждает, что для моделируемой системы функциональную зависимость между параметрами можно заменить зависимостью между критериями подобия, т. е. от функции вида $\rho_1 = f(\rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n)$ можно перейти к $\pi_1 = \varphi(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-m})$, $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}$ — множество критериев подобия, составленных из параметров $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$, m равно числу основных единиц измерения, используемых в выражении размерностей величин.

Переход от функциональной зависимости размерных величин к зависимости критериев подобия дает определенное преимущество. Зависимость между критериями подобия, установленную в результате эксперимента на модели, можно распространить на все подобные объекты, при этом число независимых переменных в функциональном выражении уменьшается на m по сравнению с выражением, содержащим размерные величины.

Третья теорема формулирует достаточное условие подобия. Согласно ей две системы будут подобны, если равны их соответствующие критерии подобия, составленные из основных параметров с учетом начальных (граничных) условий. В отличие от первой третья теорема ограничивает число параметров, необходимых для составления критериев подобия. В расчет принимаются параметры, отражающие наиболее существенные свойства объекта или процесса. Что касается начальных условий, то они вводятся в рассмотрение при моделировании неустановившихся процессов.

Рассмотрим второй метод определения критериев подобия, используемый в том случае, когда моделируемый объект описывается тем или иным уравнением. Пусть, например, моделируется система, представляющая собой упругую подвеску колеса (рис. 16), состоящая из колеса, спиральной пружины и амортизатора.

Дифференциальное уравнение движения системы под воздействием возмущающей силы $F = F_0 \sin \omega t$ выражается как

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} + cx = F_0 \sin \omega t,$$

где m — масса колеса; x — перемещение (обобщенная координата); k — коэффициент вязкого сопротивления; c — жесткость

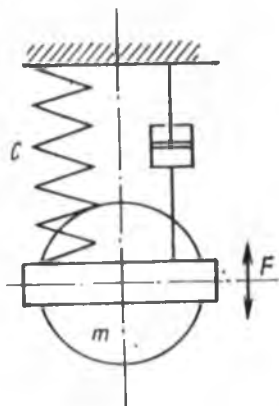


Рис. 16. Схемы упругой подвески ходового колеса

пружины; F_0 — амплитуда возмущающей силы; ω — частота колебаний; t — время.

В уравнении размерности всех его слагаемых одинаковы. Аргумент синуса — безразмерный комплекс, его сразу можно принять за критерий подобия: $\pi_1 = \omega t$. Остальные критерии получим следующим образом. Отбросим знаки дифференциала, не влияющие на размерность величин, и разделим все члены уравнения на какой-либо из них. Пусть это будет первый член. Полученные отношения составят три критерия подобия:

$$\pi_2 = \frac{kt}{m}; \quad \pi_3 = \frac{ct^2}{m}; \quad \pi_4 = \frac{F_0 t^2}{m x}.$$

Множества критериев подобия для одной и той же системы, полученные разными методами, отличаются друг от друга. Однако они эквивалентны. Каждое из них может быть сведено к другому путем элементарных преобразований.

Необходимым условием подобия двух систем является:

$$\pi_i = \text{idem}, \quad i = 1, 2, \dots, (n - m).$$

Для системы подвески колеса:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \text{idem}, \quad \omega_H t_H = \omega_M t_M; \\ \pi_2 &= \text{idem}, \quad \frac{k_H t_H}{m_H} = \frac{k_M t_M}{m_M}; \\ \pi_3 &= \text{idem}, \quad \frac{c_H t_H^2}{m_H} = \frac{c_M t_M^2}{m_M}; \\ \pi_4 &= \text{idem}, \quad \frac{F_{0H} t_H^2}{m_H x_H} = \frac{F_{0M} t_M^2}{m_M x_M}. \end{aligned}$$

Начальные условия $x = x_0$, $v = v_0$. Выразим переменную t через $t = x/v$. Получим достаточное условие подобия:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \text{idem}, \quad \frac{\omega_H x_{0H}}{v_{0H}} = \frac{\omega_M x_{0M}}{v_{0M}}; \\ \pi_2 &= \text{idem}, \quad \frac{k_H x_{0H}}{m_H v_{0H}} = \frac{k_M x_{0M}}{m_M v_{0M}}; \\ \pi_3 &= \text{idem}, \quad \frac{c_H x_{0H}^2}{m_H v_{0H}^2} = \frac{c_M x_{0M}^2}{m_M v_{0M}^2}; \\ \pi_4 &= \text{idem}, \quad \frac{F_{0H} x_{0H}}{m_H v_{0H}^2} = \frac{F_{0M} x_{0M}}{m_M v_{0M}^2}. \end{aligned}$$

Индекс «н» относится к величинам, характеризующим натурную систему; «м» — модель.

В установившемся режиме работы системы начальные условия в число определяющих параметров не входят. В этом случае достаточно составить критерии подобия из параметров ω , k , m , F_0 , c .

Число критериев $n - m = 5 - 3 = 2$. Воспользовавшись вторым методом определения критериев подобия, найдем:

$$\pi_1^* = \frac{k}{m\omega}; \quad \pi_2^* = \frac{c}{m\omega^2}.$$

Можно видеть, что

$$\pi_1' = \frac{\pi_2}{\pi_1}; \quad \pi_2' = \frac{\pi_2}{(\pi_1)^2},$$

где π_1 , π_2 — критерии подобия, определенные по первому методу.

По найденным критериям установим коэффициенты подобия:

$$k_n = k_k k_m; \quad m_n = k_m m_m; \quad \omega_n = k_\omega \omega_m; \quad c_n = k_c c_m,$$

где k_k , k_m , k_ω , k_c — коэффициенты подобия по k , m , ω , c . Из условий $\pi_1' = \text{idem}$ и $\pi_2' = \text{idem}$ найдем

$$\frac{k_k}{k_m k_\omega} = 1; \quad \frac{k_c}{k_m (k_\omega)^2} = 1.$$

Некоторыми из коэффициентов подобия можно задаться, другие следует найти из установленных соотношений.

Область применения моделирования значительно расширяется благодаря использованию дополнительных положений, сформулированных В. А. Вениковым. Первое из них позволяет моделировать сложные системы на основе подобия подсистем и равенства критериев, составленных из величин, не входящих в какую-либо из них. Второе дополнительное положение распространяется на подобие систем с переменными параметрами. В этом случае необходимо обеспечить совпадение относительных характеристик переменных параметров. По третьему дополнительно к положению условия подобия распространяются на неоднородные (анизотропные) системы с одинаковыми относительными характеристиками.

Во многих случаях не удается обеспечить равенство всех критериев для модели и природы, не всегда известны и определяющие параметры. Подобие систем в таких условиях носит приближенный характер.

При использовании математического моделирования изучаемый объект обычно описывают в виде систем дифференциальных или разностных уравнений. Их решение можно проводить вручную и с применением ЭВМ. Иногда для математического моделирования используют аналоговые вычислительные машины,

создающие электрические цепи, процессы в которых описываются такими же (с точностью до обозначений) уравнениями, как и в исследуемом объекте. Однако широкого применения аналоговые машины не получили из-за сравнительно низкой точности получаемых результатов. Чаще используются цифровые вычислительные машины. Применение ЭВМ при моделировании только для решения уравнений по охвату действующих в натуре факторов уступает физическому моделированию. Возможности современной вычислительной техники позволяют использовать ее не только как «большой арифмометр».

Имея возможность реализовать в программах сложные логические операции, удается создать машинные модели, имитирующие работу технических систем. Имитационное моделирование по своим возможностям приближается к физическому. Любая техническая система рассматривается как множество объектов, каждый из которых определяется совокупностью параметров. Функционирование системы описывается не в термодинамических понятиях, а как переход ее из одного состояния в другое под действием определенных событий. Каждое состояние характеризуется структурой связей между объектами и полным набором значений, существенных для данной ситуации параметров. Системы могут быть дискретными, непрерывными и непрерывно-дискретными. Функционирование дискретной системы связано со сменой ее состояния в дискретные моменты времени. В промежутках между ними система остается неизменной. Описать дискретную систему можно заданием алгоритмов изменения ее состояний.

Функционирование непрерывных систем характеризуется непрерывным изменением ее параметров при постоянной структуре и связях между ее объектами.

Описание непрерывных систем производится дифференциальными или разностными уравнениями.

Наиболее часто встречаются непрерывно-дискретные системы. В этом случае параметры их изменяются непрерывно на определенном отрезке времени, в конце которого происходит изменение связей и скачкообразное изменение параметров.

Описание непрерывно-дискретных систем сочетает в себе как дифференциальные и (или) разностные уравнения, так и алгоритмы изменения их состояния.

Введение в память ЭВМ описания системы составляет машинную модель. Адекватность ее натурной технической системе зависит от количества учтенных объектов, связей между ними, числа параметров и возможных состояний.

Некоторые операционные системы ЭВМ включают в качестве подсистем пакеты программ имитационного моделирования, поэтому оно становится удобным и результативным аппаратом анализа технических систем.

Так, например, система имитационного моделирования СИМФОР, входящая в операционную систему РАФОС, позволяет имитировать программными средствами на ЭВМ функционирование реальных детерминированных и стохастических систем с дискретным, непрерывным и непрерывно-дискретным изменением параметров.

СИМФОР представляет пользователю средства описания системы, ее объектов и их взаимодействия. Описание производится на языке ФОРТРАН-IV. СИМФОР содержит средства управления процессом моделирования, позволяющие производить запуск; прохождение модели с использованием трассировки и сбора статистической информации о ней; окончание реализации по условию, определенному программистом; обработку статистической информации; вывод таблиц, графиков, гистограмм и собранных статистик.

Обратимся к примеру физического моделирования устройства для разработки мерзлых грунтов.

Поставим задачу отыскания критериев подобия для моделирования объекта по варианту X_3 . Параметры рассматриваемой системы и силы, действующие на нее, представлены на рис. 17.

В наибольшей степени вопросы теории подобия применительно к землеройным машинам развиты в трудах проф. В. И. Баловнева [11].

Рассмотрим машину как механическую систему с двумя степенями свободы: поступательное движение тягача с рабочим оборудованием и вращательное движение фрезы. Дифференциальное уравнение движения тягача по [13]:

$$\delta m \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1000 N_d \eta_{тр}}{v} - (G_m + R_y)(\gamma \cos \alpha \pm \sin \alpha) - R_x - P_v,$$

где δ — коэффициент учета вращающихся масс машины; N_d — максимальная мощность двигателя; $\eta_{тр}$ — к. п. д. трансмиссии; G_m — сила тяжести машины; γ — коэффициент сопротивления движению тягача; v — скорость движения; R_x , R_y — горизонтальная и вертикальная составляющие сопротивления резанию грунта; x — поступательное перемещение машины; α — угол уклона местности; P_v — сила сопротивления воздуха.

Уравнение вращательного движения фрезы имеет вид

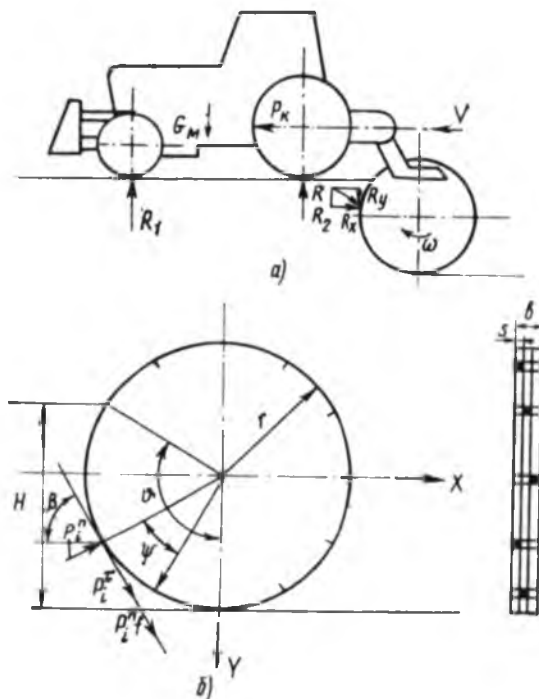
$$J \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_c,$$

где J — момент инерции фрезы; ω — угловая скорость; M_d — момент движущих сил; M_c — момент сил сопротивления.

Уравнения позволяют выявить параметры, характеризующие систему. К ним относятся δ , m , x , t , N_d , $\eta_{тр}$, $v = \frac{dx}{dt} \omega$, G_m , R_y , R_x , α , γ , P_v , J , M_d , M_c .

Величины R_x , R_y , M_c являются функциями прочности грунта, параметров и режимов действия рабочего органа.

Прочность грунтов для моделирования охарактеризуем параметрами: c — удельное сцепление; ρ — угол внутреннего трения; σ_n — нормальные предельные напряжения.



местности не учитываем. Параметры r, H, b, s имеют одну и ту же размерность. Достаточно учесть один из них. Так же обстоит дело с параметрами c и σ_n . Среди элементов множества ρ имеются безразмерные величины. Отнести их в число критериев подобия:

$$\pi_1 = \delta; \pi_2 = \eta_{\text{тр}}; \pi_3 = \varphi; \pi_4 = \psi; \pi_5 = f; \pi_6 = \rho.$$

Из оставшихся $n=7$ параметров составим $(n-3)=4$ критерия подобия. Выберем в качестве первичных единиц измерения m, ω, G_m .

Для них условие (13) выполняется. Действительно:

$$\begin{aligned} [m] &= [M]^1 [L]^0 [T]^0; \\ [\omega] &= [M]^0 [L]^0 [T]^{-1}; \\ [G_m] &= [M]^1 [L]^1 [T]^{-2}; \end{aligned} \quad \Delta = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & -2 \end{vmatrix} \neq 0.$$

Составим отношения:

$$\frac{N_d}{m^{\alpha_N} \omega^{\beta_N} G_m^{\gamma_N}}, \quad \frac{r}{m^{\alpha_r} \omega^{\beta_r} G_m^{\gamma_r}},$$

$$\frac{J}{m^{\alpha_J} \omega^{\beta_J} G_m^{\gamma_J}}, \quad \frac{c}{m^{\alpha_c} \omega^{\beta_c} G_m^{\gamma_c}}.$$

Найдем показатели степени у первичных единиц измерения, при которых отношения окажутся безразмерными:

$$\begin{aligned} \left[\frac{N_d}{m^{\alpha_N} \omega^{\beta_N} G_m^{\gamma_N}} \right] &= \frac{[M] [L]^2 [T]^{-3}}{[M]^{\alpha_N} [T]^{-\beta_N} ([M] [L] [T]^{-2})^{\gamma_N}} = \\ &= \frac{[M] [L]^2 [T]^{-3}}{[M]^{\alpha_N + \gamma_N} [L]^{\gamma_N} [T]^{-\beta_N - 2\gamma_N}} = \\ &= [M]^{1 - \alpha_N - \gamma_N} [L]^{2 - \gamma_N} [T]^{-3 + \beta_N + 2\gamma_N} = 1; \\ \begin{cases} 1 - \alpha_N - \gamma_N = 0, & \alpha_N = -1, \\ 2 - \gamma_N = 0, & \gamma_N = 2, \quad \pi_7 = \frac{N_d \omega m}{G_m}; \\ -3 + \beta_N + 2\gamma_N = 0, & \beta_N = -1, \end{cases} \\ \left[\frac{J}{m^{\alpha_J} \omega^{\beta_J} G_m^{\gamma_J}} \right] &= \frac{[M] [L]^2}{[M]^{\alpha_J + \gamma_J} [L]^{\gamma_J} [T]^{-\beta_J - 2\gamma_J}} = \\ &= [M]^{1 - \alpha_J - \gamma_J} [L]^{2 - \gamma_J} [T]^{\beta_J + 2\gamma_J} = 1; \end{aligned}$$

$$\begin{cases} 1 - \alpha_J - \gamma_J = 0, & \alpha_J = -1, \\ 2 - \gamma_J = 0, & \gamma_J = 2, \\ \beta_J + 2\gamma_J = 0, & \beta_J = -4, \end{cases} \quad \pi_8 = \frac{J\omega^4 m}{G_M^2};$$

$$\left[\frac{r}{m^{\alpha_r} \omega^{\beta_r} G_M^{\gamma_r}} \right] = \frac{[L]}{[M]^{\alpha_r + \gamma_r} [L]^{\gamma_r} [T]^{-\beta_r - 2\gamma_r}} =$$

$$= [M]^{-\alpha_r - \gamma_r} [L]^{1 - \gamma_r} [T]^{\beta_r + 2\gamma_r} = 1;$$

$$\begin{cases} -\alpha_r - \gamma_r = 0, & \alpha_r = -1, \\ 1 - \gamma_r = 0, & \gamma_r = 1, \\ \beta_r + 2\gamma_r = 0, & \beta_r = -2, \end{cases} \quad \pi_9 = \frac{rm\omega^2}{G_M};$$

$$\left[\frac{c}{m^{\alpha_c} \omega^{\beta_c} G_M^{\gamma_c}} \right] = \frac{[M] [L]^{-1} [T]^{-2}}{[M]^{\alpha_c + \gamma_c} [L]^{\gamma_c} [T]^{-\beta_c - 2\gamma_c}} =$$

$$= [M]^{1 - \alpha_c - \gamma_c} [L]^{-1 - \gamma_c} [T]^{-2 + \beta_c + 2\gamma_c} = 1;$$

$$\begin{cases} 1 - \alpha_c - \gamma_c = 0, & \alpha_c = 2, \\ -1 - \gamma_c = 0, & \gamma_c = -1, \\ -2 + \beta_c + 2\gamma_c = 0, & \beta_c = 4, \end{cases} \quad \pi_{10} = \frac{cG_M}{m^2 \omega^4}.$$

Необходимое и достаточное условие подобия для рассматриваемой механической системы в установившемся режиме ее работы:

$$\pi_1 = \text{idem}; \quad \delta_{\text{н}} = \delta_{\text{м}};$$

$$\pi_2 = \text{idem}; \quad \eta_{\text{тр.н}} = \eta_{\text{тр.м}};$$

$$\pi_3 = \text{idem}; \quad \varphi_{\text{н}} = \varphi_{\text{м}};$$

$$\pi_4 = \text{idem}; \quad \psi_{\text{н}} = \psi_{\text{м}};$$

$$\pi_5 = \text{idem}; \quad f_{\text{н}} = f_{\text{м}};$$

$$\pi_6 = \text{idem}; \quad \rho_{\text{н}} = \rho_{\text{м}};$$

$$\pi_7 = \text{idem}; \quad \frac{N_{\text{н}} \omega_{\text{н}} m_{\text{н}}}{G_{\text{Мн}}} = \frac{N_{\text{м}} \omega_{\text{м}} m_{\text{м}}}{G_{\text{Мм}}};$$

$$\pi_8 = \text{idem}; \quad \frac{J_{\text{н}} \omega_{\text{н}}^4 m_{\text{н}}}{G_{\text{Мн}}} = \frac{J_{\text{м}} \omega_{\text{м}}^4 m_{\text{м}}}{G_{\text{Мм}}};$$

$$\pi_9 = \text{idem}; \quad \frac{r_{\text{н}} m_{\text{н}} \omega_{\text{н}}^2}{G_{\text{Мн}}} = \frac{r_{\text{м}} m_{\text{м}} \omega_{\text{м}}^2}{G_{\text{Мм}}};$$

$$\pi_{10} = \text{idem}; \quad \frac{c_{\text{н}} G_{\text{Мн}}}{m_{\text{н}}^2 \omega_{\text{н}}^4} = \frac{c_{\text{м}} G_{\text{Мм}}}{m_{\text{м}}^2 \omega_{\text{м}}^4}.$$

Коэффициенты подобия определяются следующим образом:

$$K_{\delta}=1; \quad K_{\eta_{\text{тр}}}=1; \quad K_{\varphi}=1; \quad K_{\psi}=1; \quad K_f=1; \quad K_{\rho}=1;$$

$$\frac{K_{N_{\Delta}} K_{\omega} K_m}{K_{G_M}} = 1; \quad \frac{K_J K_{\omega}^4 K_m}{K_{G_M}} = 1;$$

$$\frac{K_r K_m K_{\omega}^2}{K_{G_M}} = 1; \quad \frac{K_c K_{G_M}}{K_m^2 K_{\omega}^4} = 1.$$

Зададимся значениями коэффициентов K_r, K_{G_M}, K_m . Тогда

$$K_{\omega} = \sqrt{\frac{K_{G_M}}{K_r K_m}}; \quad K_{N_{\Delta}} = \frac{K_{G_M}}{K_{\omega} K_m};$$

$$K_J = \frac{K_{G_M}}{K_{\omega}^4 K_m}; \quad K_c = \frac{K_m^2 K_{\omega}^4}{K_{G_M}}.$$

Варианты технических решений независимо от их дальнейшей реализации следует проверить на патентоспособность [50]. Согласно Положению об открытиях, изобретениях и рационализаторских предложениях признается изобретением новое и обладающее существенными отличиями техническое решение задачи, дающее положительный эффект в любой области народного хозяйства, социально-культурного строительства или обороны страны.

Таким образом, техническое решение признается изобретением, если обладает новизной; существенными отличиями; положительным эффектом.

Новизна технического решения зависит от широты его известности. Если до подачи заявки на предполагаемое изобретение техническое решение стало известно специалистам настолько, что они могут его осуществить, то оно утратило новизну.

Техническое решение обладает существенным отличием, если оно характеризуется новой совокупностью признаков. Именно совокупностью, а не отдельными признаками, которые в отдельности могут быть уже известны.

Положительный эффект технического решения определяется той конкретной пользой, которую оно может принести, а именно: повышение производительности труда, увеличение выпуска продукции, снижение затрат на материалы, снижение энергоемкости, повышение надежности и удобства в эксплуатации и др.

Положительный эффект не всегда связан с экономией. Более того, техническое решение может быть признано изобретением в том случае, если оно обещает положительный эффект не в настоящем, а в будущем.

При оформлении заявки на изобретение не требуется теоретического обоснования, достаточно вскрыть причинную связь между предложенным средством и вызываемым им эффектом.

Теоретическое же обоснование некоторых эффектов может составить открытие.

Объектами технических изобретений могут быть устройство, способ, вещество, применение известных ранее устройств, способов, веществ по новому назначению.

Устройство представляет конструктивный элемент или комплекс элементов, находящихся между собой в функциональных или иных связях. К устройствам можно отнести как машины в целом, так и отдельные механизмы.

Способ определяет последовательность действий (приемов, операций) для достижения искомого результата. Например, способ обработки материалов, нанесения покрытий, перемещения, преобразование энергии и др.

Под веществом понимается искусственно созданное материальное образование, состоящее из взаимосвязанных элементов, ингредиентов.

Применение устройств, способов, веществ по новому назначению составляет предмет изобретения, если техническое решение предлагается использовать в тех областях, где оно не предполагалось.

Изобретение, не имеющее аналогов в мировой технике, называют пионерским. Таких изобретений сравнительно немного. Подавляющее же большинство из них лишь усовершенствуют известные устройства, способы или вещество, поднимаясь над достигнутым уровнем техники в сравнительно малой степени. Однако и такие изобретения содействуют техническому прогрессу.

Начинающие конструкторы должны хорошо усвоить, что успех в признании технического решения изобретением во многом зависит от правильного оформления документов, составляющих заявку. Здесь важно овладеть методом изложения и принятой терминологией. Лучше всего обратиться за помощью в патентные подразделения, существующие при всех НИИ, КБ, вузах.

Наиболее важными документами заявки следует считать описание и формулу изобретения. Прежде чем их составлять, нужно совместно со специалистами патентной службы выполнить патентный поиск с целью определения уровня технического решения.

Для этого вначале необходимо установить обозначение класса изобретений, к которому относится заявляемое техническое решение как в СССР, так и в других наиболее развитых странах, а затем рассмотреть и сами описания авторских свидетельств и патентов. Глубину поиска, т. е. охватываемый срок, поможет установить в зависимости от класса изобретений специалист па-

тентной службы. Основная задача поиска — найти аналогичные изобретения и среди них ближайший прототип для сравнения. Если прототип окажется настолько близким к заявляемому техническому решению, что не удастся обосновать существенное отличие, то следует подумать об изменении технического решения с учетом признаков прототипа, а не отказываться сразу от подачи заявки.

Выполнив патентный поиск, можно приступить к описанию предлагаемого изобретения в такой последовательности: название изобретения; область техники, к которой принадлежит техническое решение и преимущественная область его возможного использования; характеристика аналогов и прототипа с указанием их недостатков; цель, достигаемая с помощью заявляемого технического решения; существенное отличие от прототипа; примеры конкретного выполнения изобретения; полезный эффект; формула изобретения.

В описании очень важно соблюдать стилистику изложения, сохраняя некоторые постоянные обороты и термины. Удобно иметь в качестве образца какую-либо заявку, прошедшую экспертизу и получившую положительное решение.

Формула изобретения в краткой словесной характеристике должна дать техническую сущность изобретения. Приведем структуру формулы:

⟨название устройства⟩, включающее ⟨конструктивные признаки, совпадающие с прототипом⟩, отличающиеся тем, что, с целью ⟨цель изобретения⟩ оно снабжено (выполнено) ⟨отличительные признаки⟩.

Информация, заключенная в угловые скобки, относится к заявляемому техническому решению, остальное — постоянные атрибуты формулы, допускающие иные, но близкие по смыслу обороты.

Чаще всего формула состоит из одного пункта и называется однозвенной. Реже используются дополнительные пункты, уточняющие формулу и делающие ее многозвенной.

В СССР существует две формы охраны изобретений: авторское свидетельство и патент. Авторское свидетельство удостоверяет авторство и приоритет изобретения, но исключительное право на его использование предоставляет государству, закрепляя за автором права и льготы, предусмотренные законодательством. Патент предоставляет автору исключительное право использовать и распоряжаться изобретением.

Изобретатели в СССР чаще всего испрашивают авторское свидетельство через предприятие, на котором они работают.

Предприятие в этом случае выступает в роли заявителя; оказывает автору помощь в патентном поиске и в оформлении заявки; дает заключение о полезности предложения и выплачи-

вает вознаграждение в случае положительного решения Госкомизобретений.

Техническое решение может быть заявлено конструктором и как рационализаторское предложение. В случае признания его полезным автору выдается удостоверение и вознаграждение. Для оформления рационализаторского предложения подается заявление на имя руководителя того предприятия, к деятельности которого относится техническое решение.

В заявлении описывается сущность предложения и его конструктивное решение, при необходимости предлагаются схемы, чертежи или эскизы. Техническое решение по заявлению признается рационализаторским предложением, если оно является новым и полезным для данной организации и подано лицом, в чьи прямые служебные обязанности не входит поиск подобных решений.

В приводимом в качестве иллюстрации примере проектирование новой техники для разработки мерзлых грунтов патентный поиск обнаружил техническое решение, признанное изобретением (выдано авторское свидетельство), по своим признакам весьма близкое к выбранному варианту. В связи с этим заявка по нему не оформлялась. Однако другой вариант (см. рис. 11, схема 10), совмещающий послынное термическое разрушение под действием сверхвысокочастотного магнитного поля с механическим, был признан патентоспособным и по нему одним из участников студенческого конструкторского бюро совместно с автором этого пособия и старшим научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории кафедры «Разрушение горных пород» Ленинградского горного института была подана заявка на предполагаемое изобретение. Она получила в Госкомизобретений положительное решение и было выдано авторское свидетельство¹.

Однако этот вариант не был принят к дальнейшей разработке из-за высокой трудоемкости управления и обслуживания (см. рис. 15), вредного воздействия на оператор СВЧ магнитного поля, низкой надежности СВЧ-генератора при использовании его в условиях строительства, сложности изготовления оборудования.

4.4. Техническое предложение

В результате поиска вариантов технического решения и выбора наиболее рационального из них составляется техническое предложение. Согласно ГОСТ 2.103—68 оно должно содержать техническое и технико-экономическое обоснование целесообраз-

¹ Авторское свидетельство № 781275 «Землеройная машина для разработки мерзлых грузов». Авторы: Евсеев А. Н., Хоминский В. А., Быков В. П.

ности разработки объекта, т. е. основные результаты процедур поисков вариантов принятия решений, анализа принятого решения.

Технологи, участвуя вместе с конструкторами в выборе варианта, заботятся о лучших предпосылках для использования стандартных и унифицированных узлов, типовых технологических процессов, ограничения номенклатуры конструкционных материалов.

Художник-конструктор формирует требования технической эстетики и эргономики, разрабатывает варианты художественно-конструкторского решения.

В техническом предложении отражаются результаты исследований по проверке патентной чистоты выбранного варианта технического решения как в СССР, так и в странах, предполагаемых для экспорта.

В число обязательных документов технического предложения входят пояснительная записка и ведомость технического предложения. В зависимости от характера, назначения или условий производства объекта дополнительно могут быть выполнены: чертеж общего вида или габаритный чертеж, схемы, таблицы, расчеты, патентный формуляр, карта технического уровня и качества продукции.

5. ПРОЦЕДУРЫ НА СТАДИЯХ ЭСКИЗНОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТОВ

5.1. Выбор параметров объекта проектирования

Ранее было введено понятие параметра как величины, значение которой служит для различения элементов множества технических решений. Это понятие использовалось и при изложении методики моделирования. Выбор параметров машины выделен в специальный этап проектирования в связи с его большой важностью. При сравнении вариантов уже использовались оценки параметров. Однако тогда нас интересовали их относительные значения. На этапе выбора параметров необходимо установить их абсолютные величины.

В разделе анализа было введено понятие определяющих параметров системы. К ним отнесены главный и основные параметры. Под *главным* понимают параметр наиболее полно отражающий потребительские свойства машины. В его качестве наиболее часто выступают величины, связанные с размером рабочего органа, мощностью двигателя, силой тяги, массой, грузоподъемностью. *Основные* параметры дополняют главный и находятся с ним в тесной взаимосвязи.

Этап выбора параметров машины состоит в отыскании значений главного и основных параметров.

В практике еще бытует метод, когда объект разбивается на функциональные узлы, каждый из которых проектируется в отрыве от остальных. В условиях сложных систем это приводит к отрицательным последствиям. Современные требования диктуют необходимость системного подхода к выбору параметров, связанного с оценкой влияния всех узлов (подсистем) на работу объекта как системы в целом.

В практике проектирования приходится сталкиваться с двумя типами задач выбора параметров. Первый возникает тогда, когда у проектируемого объекта есть аналог. Само проектирование может состоять в совершенствовании технического устройства, и тогда изменяются не все параметры, а лишь те, которые связаны с этим совершенствованием. Такое проектирование ведется непрерывно вместе с выпуском серийной продукции. К этому же типу можно отнести и задачи, возникающие при проектировании нового типоразмера машины. В этом случае ранее созданные объекты можно рассматривать как модели и на основе теории подобия выбирать параметры нового типоразмера.

Второй тип задач возникает при проектировании принципиально новых объектов, когда нет какой-либо информации о поведении аналогичных систем.

Остановимся вначале на выборе параметров объекта внутри параметрического ряда.

Под параметрическим рядом понимают множество изделий (машин), имеющих одинаковые потребительские свойства и отличающиеся друг от друга по главному параметру. Потребитель заинтересован в наибольшей густоте ряда, т. е. в большем числе элементов множества. Изготовитель, напротив, стремится сократить параметрический ряд, что повышает серийность производства. Оптимальный параметрический ряд изделий разумно сочетает интересы потребителя и изготовителя, приносит необходимый народнохозяйственный эффект.

Не станем останавливаться на экономическом обосновании параметрического ряда. Читатель может с этим познакомиться в работах [33], [42]. Для многих машин типоразмеры определены ГОСТами. В них указывается главный и некоторые из основных параметров. Так, например, для автогрейдера ГОСТ 9420—79 определяют три типа машин по главному параметру — массе. Кроме того, для каждого типа установлены: удельный показатель мощности, высота и длина отвала, скорость движения, дорожный просвет в транспортном положении, угол резания, боковой вынос отвала в обе стороны, заглубление отвала, колесная схема. Для выбора параметров, не определенных ГОСТами, можно воспользоваться обработкой статистиче-

ских данных по однотипным машинам, учитывая изменение во времени. Для установления взаимосвязи параметров в условиях действия большого числа факторов удобен метод корреляционного анализа. Параметр объекта рассматривается как случайная величина, а степень тесноты линейной зависимости между парами случайных величин определяет коэффициент корреляции:

$$r_{xy} = \frac{k_{xy}}{\sigma_x \sigma_y},$$

где k_{xy} — корреляционный момент величин x и y , представляющий собой математическое ожидание произведения центрированных величин $(x - m_x)$ и $(y - m_y)$; m_x и m_y при этом соответственно математические ожидания случайных величин x и y ; σ_x , σ_y — средние квадратические отклонения величин x и y .

Чем ближе коэффициент r_{xy} по модулю к единице, тем теснее линейная связь между случайными величинами. Обычно устанавливают корреляционную связь между главным и основным параметрами.

Ход исследований при корреляционном анализе:

1. Числовые значения каждой пары случайных величин (по каждому типоразмеру машины) представляются графически в виде поля точек.

2. Определяют коэффициент корреляции, по которому судят о степени тесноты линейной зависимости случайных величин.

3. Находят уравнения регрессии. Удобнее всего это делать по способу наименьших квадратов.

4. Строят границы возможных отклонений.

Так, например, согласно [64], масса полуприцепного одно-моторного скрепера (без тягача) находится в зависимости от вместимости ковша:

$$G_c = (0,9 \dots 1,2) q,$$

где G_c — масса скрепера, т; q — вместимость ковша, м³.

Определение параметров на основе их корреляционной зависимости имеет тот недостаток, что ориентирует на некоторые усредненные показатели и не способствует прогрессивному накоплению усовершенствований. В этой связи следует обратить внимание на метод определения основных технических параметров объекта на базе подобия систем, развитый применительно к строительным машинам проф. В. И. Баловневым. Согласно этому методу [31] необходимо вначале среди машин параметрического ряда отыскать наиболее совершенный типоразмер. Для этого можно воспользоваться некоторым обобщенным показателем эффективности. Так, для землеройных машин

$$\Pi_{NG} = \frac{N_{уд}}{\Pi_{туд}}$$

При этом $N_{уд} = \frac{N}{P_T}$, где N — мощность двигателя машины; P_T — техническая производительность:

$$P_{Tуд} = \frac{P_T}{G},$$

где G — масса машины.

При оценке по обобщенному показателю P_{NG} лучшим является тот типоразмер, для которого $N : NG \rightarrow \min$.

Расположив все типоразмеры в ранжированной последовательности по показателю P_{NG} машину с наименьшим значением P_{NG} принимают за эталон. Далее машину-эталон принимают за модель проектируемой и по критериям подобия находят масштабы параметров.

Выбор параметров по машине-эталону обеспечивает проектируемой машине показатели на уровне лучших достижений. Однако и этот метод не лишен недостатков. Он не отражает изменения соотношения параметров во времени. В связи с этим его относят к статическому моделированию. В отличие от него динамическое моделирование строится на прогнозировании соотношения параметров. Достоверность прогнозной информации тем выше, чем меньше изменчивость системы. Для построения динамической модели выбирают предпрогнозный (ретроспективный) период и рассматривают в нем изменение параметров во времени. Границы ретроспективного периода определяются конкретными условиями. Для строительных машин они берутся в пределах 5...15 лет. Срок прогнозного периода может быть принят равным половине ретроспективного.

Зависимость изменения параметров от времени в ретроспективный период распространяется на будущее в пределах прогнозного срока. Так можно поступать с системами, находящимися в эволюционном развитии. В работе [31] приводится анализ статистической совокупности параметров скреперов за 1956—1972 гг. Он позволил сделать вывод о том, что изменение параметров происходит плавно без скачков. На этом основании построены динамические модели для прогнозирования основных параметров. Так, возрастание вместимости ковша самоходного скрепера подчиняется зависимости

$$q = (0,94 \dots 1,06) 10,23t^{0,199},$$

где t — год в прогнозный период.

Мощность тягача в функции времени

$$N = (0,96 \dots 1,04) (20,073 + 1,35t - 0,02t^2).$$

Второй тип задач выбора параметров связан с проектированием принципиально новых машин. Решение их проводится в два этапа: построение математической модели проектируемой системы и вычисление оптимальных значений параметров.

Математическая модель выражается зависимостью между параметрами. Она может быть установлена на основе физического моделирования, выполняемого на предыдущем этапе или, если моделирование не проводилось, теоретически.

Для построения математической модели проектируемый объект представляют в виде системы, на входе которой параметры характеризуют условия эксплуатации, а на выходе — готовый продукт. Вход системы представляют в виде множества

$$\rho_{(y\dot{z})} = \{\rho_{(y\dot{z})_1}; \rho_{(y\dot{z})_2}; \dots; \rho_{(y\dot{z})_n}; t\},$$

где $\rho_{(y\dot{z})_i}$ — параметры условий эксплуатации; t — время.

Выход системы

$$\rho_{(вых)} = \{\rho_{(вых)_1}; \rho_{(вых)_2}; \dots; \rho_{(вых)_m}\},$$

где $\rho_{(вых)_j}$ — параметры, характеризующие продукцию.

Машина, как система, описывается в виде функции эффективности.

$$F = F(\rho_{(y\dot{z})} \rightarrow \rho_{(вых)}).$$

Под эффективностью понимается показатель, дающий возможность сравнивать систему с другими ей подобными по величине превышения доходов над расходами. Показатели эффективности могут быть единичными и комплексными. К единичным показателям относятся: производительность машины, удельная энергоемкость и материалоемкость, себестоимость единицы продукции и т. п. *Комплексные* показатели объединяют несколько единичных. Наиболее часто в качестве комплексного показателя используют приведенные удельные затраты:

$$Z_{\text{пр.уд}} = c_{\text{уд}} + E_n K_{\text{уд}},$$

где $c_{\text{уд}}$ — себестоимость единицы продукции; E_n — нормативный коэффициент капиталовложений; $K_{\text{уд}}$ — удельные капиталовложения.

При создании новой машины стремятся к повышению ее эффективности по сравнению с достигнутой. Выбор параметров должен обеспечить оптимальное значение функции эффективности. В такой постановке задача определения параметров сводится к отысканию максимума функции эффективности, принимаемой за целевую функцию. Область поиска максимума целевой функции, как правило, ограничена некоторыми дополнительными условиями. Локальный максимум целевой функции от одного действительного переменного параметра в заданной области определения легко отыскать в том случае, если функция дифференцируема. Функция будет иметь в точке a локальный максимум, если $f'(a) = 0$ и $f''(a) < 0$.

Если эффективность есть дифференцируемая функция двух и более действительных переменных $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, то она может иметь локальный максимум в некоторой точке $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ в том случае, если

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = 0; \quad \frac{\partial f}{\partial x_2} = 0; \quad \dots; \quad \frac{\partial f}{\partial x_n} = 0$$

и второй дифференциал d^2f есть отрицательно определенная квадратичная форма.

Поиск локального максимума функции n действительных переменных, подчиненных достаточно гладким дополнительным условиям в виде уравнений связи

$$\varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0,$$

$$\varphi_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0,$$

$$\Psi_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0,$$

можно упростить, используя множители Лангранжа (λ_i). При этом рассматривается функция:

$$\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{j=1}^m \lambda_j \varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Необходимое условие максимума функции, а также λ_i находят из системы уравнений связи и

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x_1} = \frac{\partial \Phi}{\partial x_2} = \dots = \frac{\partial \Phi}{\partial x_n}.$$

При отыскании экстремума целевой функции многих переменных может быть получена сложная система уравнений. Для ее решения зачастую прибегают к численным методам (итерационный, градиентный, метод Ньютона и др.). Численные методы могут быть использованы не только как вспомогательные при решении системы уравнений, но и как самостоятельные для отыскания локальных максимумов целевой функции.

При выборе параметров машины может оказаться, что целевая функция линейна, линейны и ограничения, накладываемые на некоторые из переменных. В такой постановке возникает задача линейного программирования. В стандартном виде она формулируется следующим образом.

Требуется максимизировать целевую функцию

$$F = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

При $m < n$ линейных ограничениях-равенствах

$$a_{k,1}x_1 + a_{k,2}x_2 + \dots + a_{k,n}x_n = b_k, \quad k = \overline{1, m}$$

и n -линейных ограничениях-равенствах

$$x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n}.$$

Наиболее общим методом решения задачи линейного программирования является симплекс-метод. Следует отметить, что повышение эффективности системы может быть связано и с уменьшением ее показателя (например, приведенные удельные затраты). В этом случае целевая функция подлежит минимизации.

Нередки случаи, когда при выборе параметров машин целевая функция или ограничения оказываются нелинейными. Тогда возникает задача нелинейного программирования. Решение ее в настоящее время рациональнее всего вести численным методом.

Особую сложность вызывают задачи, в которых нельзя ограничиться для выбора параметров одним критерием. Нужно отметить, что такого рода задачи возникают в процессе проектирования весьма часто. В связи с этим заслуживает интерес метод, упоминающийся в литературе под именем его авторов — метод Соболя — Статникова.

Проектирование реальных объектов, как отмечается в [58], с учетом многих критериев качества обычно имеет характер эвристического итерационного процесса: конструктор, рассматривая различные варианты модели, оценивает результаты, учитывает постановку задачи, затем снова решает ее и анализирует новые варианты. В процессе проектирования нередко меняются взгляды на значимость отдельных критериев. И это продолжается до тех пор, пока конструктор не решит, что пришло время остановиться, т. е. найдено то, что ему нужно.

На практике стараются избежать многокритериальных задач, сводя их к однокритериальным. Однако это приводит к решению задачи, не адекватной исходной, и никакой метод оптимизации не спасет.

Особенность метода Соболя — Статникова — систематический просмотр многомерных областей. В качестве пробных точек в пространстве параметров используются точки равномерно распределенных последовательностей.

Пакеты прикладных научных программ, входящие в программное обеспечение современных ЭВМ, представляют большие возможности для решения оптимизационных задач.

Рассмотрим пример выбора параметров устройства для нарезания щелей в мерзлом грунте.

Сформулируем задачу. Необходимо выбрать основные параметры фрезерной щеленарезной машины по схеме (см. рис. 17). Основная цель решения поставленной задачи — обеспечить наибольшую производительность при необходимой надежности и некоторых ограничениях: мощность силового оборудования ба-

зовой машины, масса, коэффициент буксования, глубина резания, прочность грунтов. Машина не имеет прямого аналога, поэтому выбор ее основных параметров относится ко второму типу задач.

Производительность щеленарезной машины удобнее всего выразить через рабочую скорость. На основании общего энергетического баланса

$$v = \frac{N_d \eta_{TP} - N_R}{P_K},$$

где N_d — мощность силового оборудования базовой машины; η_{TP} — общий к. п. д. трансмиссии; N_R — мощность, потребная для преодоления сил сопротивления резанию; P_K — окружное усилие на колесе.

Согласно схеме (см. рис. 17)

$$P_K = R_x + (G_M + R_H) \gamma;$$

$$N_R = M_R \omega,$$

где M_R — окружной момент, который определяется так:

$$M_R = r \sum_{i=1}^{\left| \frac{\phi}{\psi} \right|} [(P_i^r + P_i^n f) \cos (\phi - i\psi - \beta_i) - P_i^n \sin (\phi - i\psi - \beta_i)] + M_c,$$

здесь M_c — момент сопротивления выносу разрушенного грунта на поверхность;

$$R_x = \sum_{i=0}^{\left| \frac{\phi}{\psi} \right|} [(P_i^r + P_i^n f) \cos \beta_i - P_i^n \sin \beta_i];$$

$$R_y = \sum_{i=0}^{\left| \frac{\phi}{\psi} \right|} [(P_i^r + P_i^n f) \sin \beta_i - P_i^n \cos \beta_i];$$

$\left| \frac{\phi}{\psi} \right|$ — целевая часть отношения; i — порядковый номер резца по окружности фрезы, начиная от поверхности грунта ($i=0$ для резца, выходящего на поверхность).

Для определения касательной P_i^r составляющей сопротивления резанию грунта можно воспользоваться формулой А. Н. Зеленина [31]

$$P_i^r = C_s h_i (1 + 0,55s) \left[1 - \frac{90 - \alpha}{150} \right] \Delta \mu,$$

где C_1 — плотность грунта по показанию плотномера; h_i — глубина резания; s — ширина резца; α — угол резания; Δ — коэффициент, учитывающий износ резцов; μ — условие резания (блокированное, полублокированное, свободное).

Глубина резания резцом зависит от положения его в забое, шага резцов, поступательной и угловой скорости фрезы:

$$h_i = v \frac{\Psi}{\omega} \frac{b}{s} \sin(\theta - i\psi).$$

Согласно условию задачи необходимо выбрать такие параметры и режимы работы машины, при которых

$$v = \max v.$$

К ограничениям относятся:

а) мощность силового оборудования N_d , равная мощности двигателя базовой машины;

б) коэффициент буксования δ_k не должен превышать 0,2;

в) неравномерность нагрузки рабочего органа, вызываемая периодическим выходом резцов из забоя, не должна превышать 1,2.

Не станем останавливаться на решении поставленной задачи. Читатель при желании может познакомиться с ним из [14].

В результате было установлено, что максимум целевой функции v лежит на границе области возможных решений. Ширину фрезы b , ее радиус r и угловой шаг резцов Ψ следует назначать возможно наименьшими с учетом ограничений: по условиям прочности фрезы, необходимой глубины резания щели, по условию устранения заполнения частицами грунта пространства между резцами. Расчеты показали также возрастание целевой функции с увеличением угловой скорости фрезы ω . Однако и здесь нужно учитывать ограничения, связанные с интенсивностью износа резцов, возрастающей с увеличением угловой скорости и величиной динамических нагрузок, возникающих при встрече резцов с непреодолимыми твердыми включениями в массиве мерзлого грунта.

5.2. Эскизный проект

По выбранным основным параметрам может быть разработан эскизный проект. В число его обязательных документов входят пояснительная записка и ведомость эскизного проекта. Дополнительно могут составляться: чертеж общего вида, габаритный чертеж, теоретический чертеж, схемы, ведомость покупных изделий, ведомость согласования применения покупных изделий, программа и методика испытаний, расчеты, таблицы, патентный формуляр, карта технического уровня и качества продукции.

В пояснительной записке отражается выбор параметров. Кроме того, в нее включаются расчеты ожидаемого экономического эффекта. При эскизном проектировании в отличие от стадии технических предложений они выполняются по более уточненным данным. Если расчеты подтверждают экономический эффект, определенный на стадии технического предложения, то принимается решение о продолжении разработки. В противном случае нужно в него внести изменение или обратиться к другому.

В ходе эскизного проектирования инженер-технолог совместно с конструктором продолжают отработку на технологичность, заключающуюся в [41]: окончательном выборе рациональной конструктивной схемы; принципиальной оценке технологичности основных составных частей; выявлении составных частей, которые могут быть стандартными или унифицированными; выявлении составных частей, которые могут быть позаимствованы; выявлении условий сборки изделия и составных частей; выявлении номенклатуры используемых конструкционных материалов; выявлении условий технического обслуживания изделия; выявлении условий контроля, регулировки и подготовки изделия к функционированию; выявлении условий подготовки производства и определении основных укрупненных данных для организации технологической подготовки производства; выявлении новых технологических процессов, требующих технического оснащения и освоения.

Расчет показателей технологичности производится на основе базовых данных, установленных в техническом задании.

Художественная проработка изделия на этапе эскизного проекта включает изучение конструкции, материалов и технологии изготовления; разработку вариантов композиции графически или на макетах; выбор окончательного варианта композиции.

Особо следует остановиться на роли художественной проработки на этапе эскизного проекта. Для объектов новой техники, не имеющих аналогов, это, пожалуй, пока единственный наиболее успешный метод общей компоновки. Интуиция дизайнера подсказывает наиболее рациональное размещение основных узлов с точки зрения эстетики. Оно же, как правило, оказывается и наиболее удачным в техническом отношении. Такая закономерность высказывается многими конструкторами. В практике работы студенческого конструкторского бюро ЛИИЖТа она проверена в ходе совместных работ с учащимися Ленинградского высшего художественно-графического училища им. В. Н. Мухиной. На стадии эскизного проекта продолжают работы по выявлению патентоспособных решений, которые могут появиться в ходе компоновки объекта. Оформляются заявки на изобретение как по устройству, так и по промышленному образцу. Выявляются страны или фирмы-потребители объекта, разрабатываются предложения о патентовании изобретений за границей.

5.3. Конструирование объекта проектирования

Этапом выбора основных параметров завершается поисковая часть проектирования. Под конструированием понимается воплощение технического решения в конструкцию. Этап конструирования, так же как и предыдущий, связан с выбором параметров, но здесь приходится определять все их множества, а не только основные. В процедурной модели выделены два этапа конструирования: конструирование объекта и конструирование сборочных единиц и деталей. И хотя трудно установить грань между этапами, все же каждый из них имеет свои специфические задачи. Этап конструирования объекта в целом завершается разработкой технического проекта, представляющего необходимые данные для выполнения рабочей документации.

Рабочая документация является основной продукцией проектной организации. Состав технического проекта и рабочей документации определен Единой системой конструкторской документации (ГОСТ 2.102—68).

Основным средством конструирования в настоящее время является чертеж, изображающий изделие в прямоугольных проекциях. Основные правила выполнения чертежей, текстовых документов и спецификации определены ГОСТами: 2.104—68; 2.105—79; 2.106—68; 2.108—68; 2.109—73. В некоторых случаях при проектировании сложных литых деталей используется изображение в аксонометрии. Для проектирования изделий, имеющих большие размеры и сложную форму (суда, самолеты), применяется плазовый метод. На чертеже в крупном масштабе изображаются следы пересечения определенным образом ориентированных плоскостей с поверхностью изделий (ГОСТ 2.419—68. Правила выполнения документации при плазовом методе производства).

На этапе конструирования объекта инженер-конструктор работает совместно с дизайнером, добиваясь целостности и выразительности технической формы изделия. Здесь оказывается полезным макетирование. Работа конструкторов подчинена одной общей цели — обеспечению качества изделия. Нельзя, конечно, полагать, что качество обеспечивается лишь на этапах конструирования. Оно закладывается раньше, еще при поиске вариантов технического решения. Однако лишь при конструировании качество проступает явно. Нередки случаи, когда хорошие технические решения оказываются загубленными из-за неудачного воплощения в конструкцию. И, наоборот, далеко не передовые технические решения живучи из-за хорошо отработанной конструкции.

Процедура конструирования объекта имеет на входе чаще всего схему, главный и основные параметры. На выходе она

должна дать необходимую информацию для разработки рабочей документации.

Начинающего конструктора, особенно студента, зачастую разочаровывает свой собственный чертеж общего вида или сборочной единицы нового технического устройства. Он смущает его своей примитивностью. Нередко это рождает неверие в свои силы и страх перед проектированием. Преподаватель объясняет студенту, что его чертеж приобретает «солидность» после проработки всех входящих в него частей. Большую помощь здесь оказывают дизайнеры. Конструктор исследовательским анализом разбивают машину на отдельные подсистемы, устанавливая при этом их взаимосвязь. Каждая подсистема характеризуется частными функциями и некоторыми параметрами из числа ранее установленных. На первом этапе в качестве подсистемы можно выделить силовое оборудование, трансмиссию, рабочее оборудование, ходовое оборудование, раму, подсистему управления. На последующих этапах анализа каждая подсистема разбивается на свои собственные подсистемы и детали. По ходу последовательного выделения подсистем конкретизируется описание объекта. Выбираются механизмы из числа известных или синтезируются новые. Здесь можно воспользоваться аппаратом функционально-стоимостного анализа (ФСА). На его основе отыскиваются подсистемы с одинаковыми или близкими функциональными описаниями. Объединяя их в одну группу и устраняя некоторые отклонения в описании, добиваются унификации подсистем. Схема алгоритма конструирования объекта новой техники представлена на рис. 18.

Требование сокращения затрат и сроков на освоение новой техники заставляет конструкторов все шире использовать унификацию. Если до недавнего времени она касалась лишь деталей и комплектующих изделий, то сейчас захватила сборочные единицы и даже комплексы. В некоторых отраслях техники (судостроение, робототехника, станкостроение и др.) развивается модульное строение объектов. Из сравнительно небольшого числа функционально замкнутых узлов-модулей комплектуются технические системы, удовлетворяющие определенным, зачастую весьма различным требованиям технологического процесса, в котором они участвуют.

Неотъемлемым требованием при конструировании является соблюдение стандартов. Это условие вызвано стремлением к ускорению технического прогресса, повышению производительности труда и народнохозяйственной эффективности. Стандартизация позволяет успешно участвовать в проектировании, изготовлении и эксплуатации технических устройств различными организациями и предприятиями. Она отражает достижения науки, техники, передовую технологию.

Стандарты распространяются как на изделия и их составляющие части, так и на техническую документацию.

В рассматриваемом примере проектирование машины для разработки мерзлых грунтов использованы в качестве унифицированных деталей зубчатая пара (шестерня и колесо с внутренним зацеплением) от опорно-поворотного устройства экскаватора и резцы угледобывающего комбайна. Кроме того, дискофре-

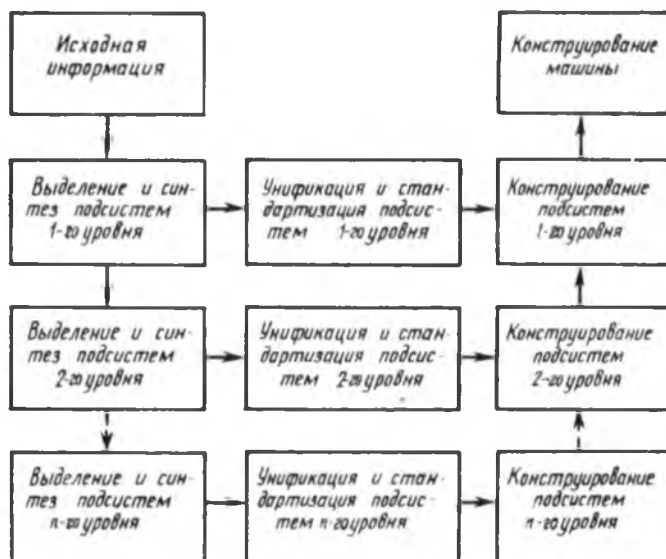


Рис. 18. Схема алгоритма конструирования объекта новой техники

зерное рабочее оборудование выполнено как сменное к цепному траншейному экскаватору ЭТЦ-161.

Решающее значение для проектирования имеет Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП), определяющая общий для всех отраслей порядок разработки технологической документации. В ЕСТПП как подсистемы входят Единая система конструкторской документации (ЕСКД) и Единая система технологической документации (ЕСТД).

В настоящее время в СССР действует около 20 тыс. стандартов. Ориентироваться в них позволяет Указатель государственных стандартов СССР, в котором выделены отделы, классы и группы стандартов по признакам отраслевой стандартизации. Отдел обозначен заглавными буквами русского алфавита, первая буква означает класс, вторая — группу стандартов. Например, Г12 означает вторую группу внутри первого класса, входящего в отдел Г — «Машины, оборудование и инструмент».

Из всех показателей качества проектируемого изделия на этапе конструирования решающее значение имеют отработки на технологичность, обеспечение надежности, выполнение эргомических требований и эстетическое оформление. Остановимся на этих показателях несколько подробнее.

Под технологичностью конструкции, как уже отмечалось ранее, понимается свойство, связанное с возможностью и трудоемкостью ее изготовления. Общие правила отработки конструкции на технологичность предусмотрены ГОСТ 14.201—83. Основные показатели технологичности и способы их определения отражены в Методике Государственного комитета стандартов [41]. ГОСТ 14.201—83 определяет перечень показателей технологичности.

По трудоемкости.

1. Трудоемкость изготовления изделия.
2. Трудоемкость изготовления по видам работ.
3. Трудоемкость подготовки изделия к функционированию.
4. Трудоемкость профилактического (технического) обслуживания.
5. Трудоемкость ремонта изделия.

По себестоимости.

1. Технологическая себестоимость изделия.
2. Себестоимость подготовки изделия к функционированию.
3. Себестоимость профилактического обслуживания изделия.
4. Себестоимость ремонта изделия.

По унификации и взаимозаменяемости.

1. Коэффициент унификации изделия.
2. Коэффициент унификации конструктивных элементов.
3. Коэффициент стандартизации изделия.
4. Коэффициент повторяемости.
5. Коэффициент взаимозаменяемости.

По расходу материала.

1. Масса изделия.
2. Коэффициент использования материала.
3. Коэффициент применимости материала.

По обработке.

1. Коэффициент точности обработки.
2. Коэффициент шероховатости поверхности.

По составу конструкции.

1. Коэффициент сборности.
2. Коэффициент перспективного использования в других изделиях.

Обработка конструкции машины на технологичность на основе приведенных показателей приводит к снижению трудоемкости и себестоимости ее изготовления, технического обслуживания и ремонта объекта. Некоторые из приведенных показателей могут иметь абсолютное значение, другие относительное и удельное.

Надежность представляет собой свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки. Под наработкой понимается количество продукции в натуральном выражении, произведенной за определенный промежуток времени.

Надежность проявляется в безотказности, долговечности и ремонтопригодности. Безотказность характеризует свойство объекта сохранять работоспособность в течение определенного срока при требуемых эксплуатационных условиях. Показателями безотказности могут служить: вероятность безотказной работы; интенсивность отказов; наработка на отказ.

Долговечность определяет свойство объекта длительно, с учетом ремонтов, сохранять работоспособность в условиях эксплуатации до разрушения или другого состояния, при котором невозможна нормальная эксплуатация. Показателями долговечности выступают технический ресурс, под которым понимается наработка до ремонта или замены, и срок службы.

Ремонтопригодность означает приспособленность объекта к восстановлению его работоспособности и поддержанию технического ресурса путем предупреждения, обнаружения и устранения неисправности и отказов.

Эргономические показатели качества характеризуют систему «человек — машина». Эргономика как наука занимается комплексным изучением трудовой деятельности оператора. Она использует знания таких научных дисциплин, как физиология, гигиена и охрана труда, системология, техническая эстетика, промышленная социология, социальная психология и др. Необходимость учета эргономических показателей вызывается тем, что эффективность работы машины весьма существенно зависит от условий, в которых находится оператор.

Система эргономических показателей строится на следующих свойствах оператора: физиологические (силовые и скоростные возможности человека), психофизиологические (возможности слуха, зрения), антропометрические (компоновка рабочего места) и гигиенические (условия жизнедеятельности и работоспособности человека в кабине).

Оператор должен иметь достаточное рабочее пространство для выполнения всех необходимых операций управления машиной. Наиболее рациональное положение оператора в кабине: сидя — стоя; в этом случае снижается его утомляемость.

Работа, затрачиваемая оператором на управление, не должна превышать некоторые нормативные значения, зависящие от класса машин. Необходимо стремиться к уменьшению количества рычагов и педалей управления, к снижению потребного усилия и хода. На рис. 19 показаны зоны досягаемости органов управления в горизонтальной плоскости: А — зона максималь-

ной досягаемости, *B*, *C*, *D* — зоны легкой досягаемости. Зоны досягаемости в вертикальной плоскости представлены на рис. 20.

Наиболее часто используемые органы управления должны размещаться в зоне легкой досягаемости. Направление перемещения рычагов рекомендуется согласовывать с направлением перемещения объектов управления. Так, например, выдвижение рукоятки одноковшового экскаватора наиболее рационально

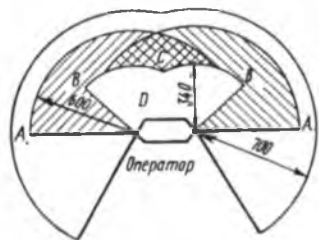


Рис. 19. Зоны досягаемости органов управления в горизонтальной плоскости

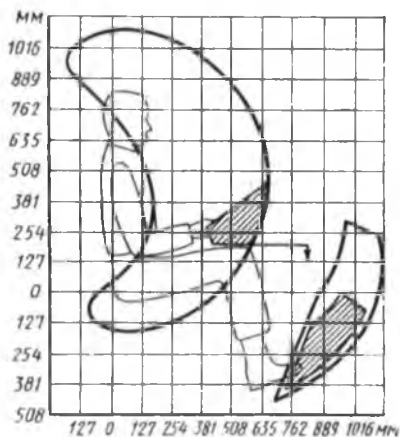


Рис. 20. Зоны досягаемости органов управления в вертикальной плоскости

включать поворотом рычага управления от себя. Возврат рукоятки — обратным движением. Движение рычагов вправо целесообразно связывать с увеличением тех или иных показателей, влево — с уменьшением.

Существенное значение для удобства управления машиной имеет кресло оператора, которое на современном техническом уровне представляет собой довольно сложную конструкцию, обеспечивающую виброзащиту, регулировку по высоте и по жесткости в зависимости от размеров оператора.

В своей практической работе над конструированием рабочего места оператора конструкторы используют ряд приемов:

1. Изображение различных положений оператора в кабине средствами технического черчения.
2. Использование плоских шарнирных манекенов.
3. Проецирование на чертеж кабины проекционным аппаратом изображений оператора в различных рабочих положениях.
4. Объемное макетирование.

При конструировании пульта управления весьма важно позаботиться о необходимом количестве и относительном размеще-

нии средств отображения (индикаторов). Здесь нужно руководствоваться следующими основными принципами:

индикаторов должно быть ровно столько, сколько необходимо для принятия решения в конкретных ситуациях использования машины;

точность отображения информации должна выбираться в зависимости от точности работы машины;

отображение информации должно обладать достаточной наглядностью;

в необходимых случаях отображение должно не только сообщать о состоянии объекта управления, но и указывать возможные пути решения оперативных задач. Индикаторы необходимо размещать в зоне наиболее удобной для зрительного восприятия.

Немаловажным для удобства управления оказывается обзорность из кабины управления. Для многих машин, в том числе и строительных, наблюдение за перемещением рабочего органа оказывается основным источником информации. Различают обзорность в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Гигиенические показатели оценивают вентилируемость кабины, температуру, влажность, давление, запыленность, шум, вибрацию.

С ростом количества и энергонасыщенности машин все заметнее становится их влияние на окружающую среду. Это проявляется и в загрязнении воздуха продуктами сгорания при работе ДВС и в повышении шумности машин, оказывающей вредное воздействие на работающих поблизости людей, в некоторых других сопутствующих факторах. Влияние технической сферы на среду обитания растительного и животного мира изучается в настоящее время наукой, носящей название экология. Ею отрабатываются требования к техническим устройствам, обеспечивающим защиту окружающей среды.

Техническая эстетика — научное направление, изучающее закономерности художественного конструирования технических изделий. Художник-конструктор работает вместе с инженером-конструктором на всех этапах проектирования. По мере продвижения по этапам роль художественного конструирования возрастает. Особенно она заметна на этапе выбора основных параметров и разработки эскизного проекта. Инженер-конструктор добивается высоких технических показателей машины, а художник-конструктор стремится выразить назначение и особенности работы машины, добивается целостности и гармоничности в восприятии.

В некоторых случаях форма изделия существенно влияет на технические показатели, например: самолет, гребной винт, сверло и т. п. Здесь форму изделия определяет в основном инженер-конструктор, добиваясь гармоничности за счет активного воздействия на окружающую среду. Иначе обстоит дело в тех случаях,

когда форма изделия не связана тесным образом с техническими показателями. Художнику-конструктору открывается широкое поле деятельности. Эстетические показатели тем выше, чем в большей степени в форме изделия реализуются общие принципы композиции. Под композицией понимается как процесс достижения целостности и гармоничности в форме, так и результат этого процесса.

К основным принципам композиции относятся:

1. **Принцип повторяемости.** Техническое изделие в целом и отдельные его части должны повторять один определенный элемент формы. Этот элемент определяется господствующей в соответствующий момент времени модой.

2. **Принцип подчиненности.** В технической форме должна ясно восприниматься соподчиненность, выделяться главные и подчиненные элементы.

3. **Принцип соразмерности.** Части технической формы и вся она в целом должны быть соизмеримы с определенной мерой.

4. **Принцип равновесия.** Форма изделия должна восприниматься зрительно уравновешенной относительно пространственных осей.

5. **Принцип единства.** Означает взаимосвязь всех предыдущих принципов, порождающую новое качество композиции — ее целостность.

Основные принципы композиции, выработанные многолетней практикой, позволяют дать объективную оценку форме технического изделия. Техническая эстетика определила и ряд приемов или средств к достижению целостности, гармоничной формы:

подход к форме изделия как к объемно-пространственной структуре, состоящей из материально заполненного пространства и пустот. Художник-конструктор рассматривает изделие как некую абстрактную скульптуру. При этом он одновременно учитывает как функциональное назначение изделия, так и художественный замысел;

тектоника, под которой, согласно [59], понимается зримое отражение работы конструкции, материала. Изделие, выполненное из чугуна, должно иметь форму, отличную от изделия стального;

масштаб — действительное соотношение размеров изделия с некоторой мерой, за которую зачастую принимают размеры тела человека. Масштабность — зрительное восприятие размеров изделия;

для достижения гармоничности формы изделия отдельные его части должны находиться друг с другом и с изделием в целом в определенной пропорции. Пропорционирование может быть на основе ряда целых или иррациональных чисел с использованием геометрического подобия фигур. Широко использует-

ся «золотое сечение», при котором размер целого так относится к размеру большей его части, как большая часть к меньшей.

В итоге еще раз отметим, что специфика показателей качества современных изделий по своей широте не вписывается в традиционную область профессиональных знаний инженера-конструктора. Для успешного проектирования необходима совместная работа инженера-конструктора, инженера-технолога, психолога и художника-конструктора.

До настоящего времени еще бытует практика, когда кабина и органы управления разрабатываются лишь на последних этапах проектирования без привлечения специалистов по инженерной психологии и художественному конструированию. Такой подход был возможен до тех пор, пока техника была сравнительно проста и не предъявляла серьезных требований к ее управлению. На смену ему пришло системное проектирование, построенное на учете взаимного влияния составных частей разрабатываемого объекта. При системном подходе проектируемое изделие рассматривается не просто как технический объект, а как система «человек — машина» (СЧМ). Это обстоятельство заставляет проектировать деятельность оператора и условия его окружения наравне и в связи с конструкцией машины. Системное проектирование состоит из трех основных частей: технической, инженерно-психологической и художественной.

Конструктор и технолог заботятся о работоспособности системы, обеспечивают ее надежность, технологичность, эффективность и другие технические показатели качества. Инженер-психолог в ходе проектирования анализирует функции человека в СЧМ, изучает процесс преобразования информации, разрабатывает принципы построения рабочих мест операторов, изучает влияние психологических факторов на эффективность СЧМ. Художник-конструктор добивается выразительности технической формы объекта, планирует интерьеры рабочих мест операторов, создает особую эстетическую среду, влияющую на состояние человека.

Успех системного подхода к разработке объектов техники зависит от успешного решения задач всех трех составных частей проекта. Немало этому способствует участие специалистов по инженерной психологии и художников-конструкторов уже на ранних стадиях разработки: технического задания и технического предложения.

К настоящему времени основным достижением системного подхода можно считать выработку предельно допустимых норм деятельности оператора, превышение или понижение которых вызывает нежелательные отклонения в его состоянии. Так, по существующей методике в комплексный показатель технического уровня машин помимо показателей патентно-правовых, надежности, технологичности, стандартизации, унификации

входят и показатели эргономических и эстетических свойств. Эргономические показатели учитывают внутренние габаритные размеры кабины, усилия на рычагах и педалях управления, ход рычагов и педалей, уровень вибрации сиденья машиниста, пола кабины, уровень шума, загазованности, запыленности и температуры.

Упомянутая методика вводит некоторую шкалу оценки свойств СЧМ. Однако с ее помощью можно установить лишь соответствие тех или иных единичных свойств предельно допустимым нормам. Вообще разработка и совершенствование шкал измерений свойств СЧМ имеет немаловажное значение в системном проектировании. Имеющиеся шкалы, включая и ту, о которой шла речь, относятся к шкалам порядка. Дальнейшее развитие методов оценки свойств СЧМ должно дать проектировщикам шкалу интервалов, а в будущем и абсолютную. К недостаткам существующих методов планирования и оценки показателей свойств СЧМ следует отнести и то, что показатели эргономики и особенно эстетики имеют в комплексной оценке технического уровня и качества сравнительно невысокие значения весомости. Так, например, согласно [54], для землеройных машин непрерывного действия суммарный вес всех показателей эргономики составляет 0,18, а эстетики — лишь 0,04. Некоторые из единичных показателей эргономических свойств имеют вес 0,01. Такое положение приводит к тому, что улучшение или ухудшение некоторых эргономических и эстетических свойств может практически не отразиться на комплексном показателе технического уровня и качества.

Нужен иной подход к оценке и особенно к планированию уровней эргономических и эстетических показателей.

Объединим эргономические и эстетические показатели рабочего места оператора одним обобщенным показателем и назовем его уровнем комфорта. Обычно понятие «комфорт» применяют к бытовым условиям, характеризуя им благоустроенность помещений. Используя это понятие к объектам техники, можно охарактеризовать условия обитания человека в СЧМ. Если в процессе работы человек не испытывает энергетических и информационных перегрузок, располагается в удобном кресле, в кабине поддерживается постоянная температура и влажность, нет раздражающего воздействия вибрации, шума, запыленности и загазованности и к тому же сама кабина и органы управления удобны и своим внешним видом доставляют человеку удовольствие, то можно сказать, что он находится в комфортных условиях. Разумеется, «комфорт» есть характеристика психологического состояния оператора, лишь относительно зависящего от внешних условий. То, что в одних условиях будет считаться комфортным, в других может не отвечать этому. Действительно, раскладушка в палатке во время туристского похода

да может считаться атрибутом комфорта, но в условиях гостиницы она таковым не является. Немаловажно и то, с какими расходами связан комфорт. Зачастую человек отдает предпочтение менее удобным, но более дешевым условиям обитания. В связи с этим необходимо ввести понятие «уровень комфорта» и заранее обосновывать выбранный уровень при проектировании.

Уровень комфорта рабочего места оператора несомненно должен быть связан с общим техническим уровнем машины, продолжительностью работы в течение смены или суток, продолжительностью использования машины в течение года. Выбранный уровень комфорта, таким образом, должен определяться исходя из технических и социальных требований. Нужно предвидеть и его изменение во времени и в связи с ростом культурного уровня и материального благосостояния общества.

Было бы весьма удобно для проектирования новых и модернизации существующих машин уметь оценивать требуемый уровень комфорта и располагать готовыми решениями для его обеспечения.

Будем исходить из тезиса — более высокий уровень комфорта требует больших расходов на его обеспечение. Тогда представляется целесообразным в качестве показателя, определяющего уровень комфорта, выбрать лимитную цену машины. Лимитная цена является важным экономическим показателем для оценки эффективности проектно-конструкторских решений. Она определена заказчиком и остается неизменной на всех стадиях разработки нового изделия. Лимитная цена ограничивает проектную себестоимость.

Любая машина состоит из шести основных подсистем: рабочее оборудование, трансмиссия, силовое оборудование, ходовое оборудование, рама (металлоконструкция), подсистема управления. С учетом этого себестоимость машины можно выразить так:

$$C_{\Sigma} = \mu \sum_{i=1}^6 C_i,$$

где C_i — себестоимость основных подсистем; μ — коэффициент, учитывающий затраты на сборку.

Допустим, что нам удалось выделить часть себестоимости, приходящуюся на подсистему управления. Обозначим ее через C_y . Эту величину будем рассматривать как затраты на обеспечение определенного уровня комфорта рабочего места оператора. Желательно выразить C_y как функцию от уровня комфорта, например в виде диаграммы, представленной на рис. 21, а, б. Здесь $k = \{1, 2, \dots, n\}$ означает уровень комфорта; $C_{y(k)}$ — затраты на его обеспечение.

Теоретически определить зависимость $C_{y(k)}$ от k затруднительно, сделать это проще методом статистического анализа. Для этого прежде всего нужно охарактеризовать каждый уровень комфорта некоторым вектором качества. Компонентами вектора должны быть показатели эргономических и эстетических свойств рабочего места оператора. Такой подход, разумеется, предполагает предварительный выбор требуемых показате-

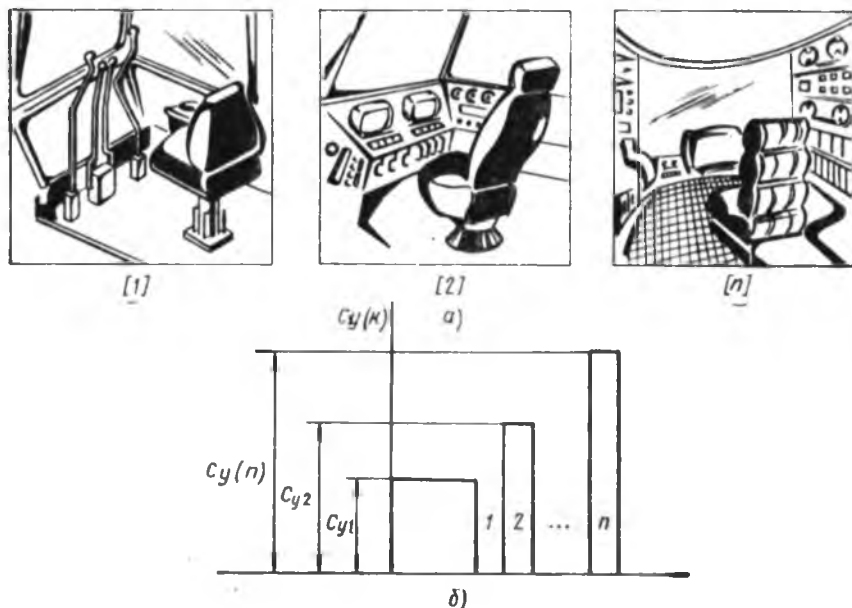


Рис. 21. Диаграмма уровней комфорта в кабине оператора:

а — кабины оператора с различным уровнем комфорта; б — диаграммы уровней комфорта и затрат на их обеспечение

лей. Современный уровень инженерной психологии и технической эстетики позволяет осуществить этот выбор с достаточной для практических потребностей точностью.

Обеспечение того или иного значения каждого показателя связано с определенными затратами. Воспользуемся широко применяемой в экономике функцией Кобба — Дугласа [25] и выразим зависимость затрат на обеспечение требуемого уровня комфорта от значений, определяющих его компоненты вектора качества:

$$C_{y(k)} = A \prod_{j=1}^m \rho_j^{a_j},$$

где A — константа; ρ_j — показатель эргономических и эстетических свойств рабочего места оператора; a_j — некоторая константа, характеризующая вес затрат для достижения заданного значения j -й составляющей вектора качества.

Введем понятие оптимальной стоимостной характеристики уровня комфорта. Под ним будем понимать такой набор элементов рабочего места оператора, включая элементы интерьера, который соответствует выбранному уровню при минимальных затратах для его обеспечения.

В результате сбора статистического материала, установления на его основе аналитических зависимостей стоимости от значений составляющих вектора качества и решения оптимизационной задачи станет возможным обоснованный выбор как эргономических, так и эстетических показателей качества машины. Более того, изложенный подход к инженерно-психологическому и художественному конструированию определит и требуемый уровень автоматизации управления. В этом случае выбранный уровень комфорта определит и набор действий оператора. На одном уровне, например, возможно использование рычагов и педалей управления, на другом — предусматривается кнопочное включение и слежение за процессом работы машины по показаниям приборов. На некотором n -ом уровне на долю оператора остается лишь включение и выключение. Сбор информации, принятие решения и его обслуживание в этом случае производятся автоматически. Таким образом, автоматизированная система управления должна обеспечивать предусмотренные выбранным уровнем комфорта условия работы оператора. При этом следует помнить, что работа оператора с автоматизированной системой управления освобождает его от физического напряжения, но создает напряжение психическое за счет монотонности, повышенной ответственности и т. д. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе показателей уровней комфорта.

Технические и программные средства автоматизированного проектирования представляют в настоящее время большие возможности для их применения и на стадии конструктивной проработки технических решений. Имеется и положительный опыт применения машинной графики в конструировании судов, самолетов, роботов, станков и других технических объектов. Системы интерактивной графики позволяют на экране дисплея или на бумаге с помощью графопостроителя выполнять сложные графические изображения, проводить их аффинные преобразования (сжатие, растяжение, поворот, симметричное отображение), строить проекции поверхностей, штриховать различные области, ограниченные замкнутой линией, наносить выносные элементы и размерные линии, выполнять основные надписи.

Располагая только базовым программным обеспечением, можно выполнять конструкторскую проработку на экране дисплея или на графопостроителях, подавая команды ЭВМ на вычерчивание графических элементов (прямых, окружностей, выносных и размерных линий и др.), подобно тому, как это делается конструктором при обычном черчении. Однако такой подход к машинной графике не даст существенных преимуществ, но требует в то же время специальной подготовки конструктора. Дело заметно улучшится, если в ЭВМ вложить необходимые данные и знания процесса проектирования. Уже имеются в некоторых областях техники специализированные базы графических данных и прикладные программы для выполнения определенных проектных операций и процедур. В этих условиях конструирование происходит не отдельными графическими элементами, а целой их совокупностью, отражающей составные части объекта (детали, узлы). Помимо этого одновременно проводятся и необходимые расчеты (кинематические, динамические, прочностные). Особенно эффективно в таком режиме модульное конструирование объекта. О некоторых из таких систем можно узнать, например, из материалов II Всесоюзного совещания по автоматизации проектирования [2].

5.4. Технический проект

Процедура конструирования объекта завершается составлением технического проекта, содержащего окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации. Обязательными документами технического проекта являются: чертеж общего вида, пояснительная записка, ведомость технического проекта. Дополнительно в зависимости от характера, назначения или условий производства изделия могут быть теоретический и габаритные чертежи, расчеты, таблицы, схемы, ведомость покупных изделий, ведомость согласования применения покупных изделий, технические условия, программа и методика испытаний, патентный формуляр, карта технического уровня и качества продукции.

Инженер-технолог, участвуя в разработке технического проекта, отработывает конструкцию на технологичность, добиваясь наилучших значений ее показателей.

Инженерно-психологической и художественной проработкой объекта определяются: окончательная компоновка и конструкция рабочих мест, средства обеспечения условий обитаемости, конкретные задачи и функции, выполняемые оператором, техническая форма объекта и его составных частей.

Патентными исследованиями обосновывается возможность использования технических решений, защищенных авторскими

свидетельствами и патентами, проверяются на патентоспособность вновь создаваемые конструкции, оформляются заявки на изобретения.

5.5. Оценка уровня качества машины

Оценка качества создаваемого объекта выполняется на всех этапах проектирования. Отдельные показатели устанавливаются уже на этапе определения цели и указываются в техническом задании. Некоторые из них выражаются количественно, другие — качественно. На всех последующих этапах оперируют с переменными, связанными с теми или иными показателями качества. Однако до тех пор, пока параметры машины не получили конкретных значений, а принадлежат некоторой области, оценка качества носит приближенный характер. Окончательное суждение о качестве машины можно составить лишь после производственных испытаний опытного образца или, если это предусмотрено, опытной партии. Только в этом случае проявятся все факторы, влияющие на качество продукции. Несмотря на это, при проектировании необходимо оценивать качество по единой методике, точнее, по методике оценки уровня качества готовой продукции. При этом некоторые из показателей, не имеющие точной оценки, назначаются по среднестатистическим или вероятностным значениям.

Всегда, когда это возможно, качество машин следует оценивать на основе сравнения с некоторым существующим образцом, предназначенным для выполнения того же вида работ. И только в том случае, когда такого образца не существует, оценку качества можно строить сравнением расчетных показателей с техническим заданием.

Зачастую трудно или просто невозможно оценить качество машины, используя лишь единичные показатели. Требуется комплексный показатель. Согласно [42] такой показатель может выражаться:

баллами или категорией качества (высшая, первая, вторая);
функциональной зависимостью интегрального показателя от других показателей;

средними взвешенными показателями качества продукции.

Средние взвешенные показатели разделяются на:

арифметические

$$v_a = \sum_{i=1}^m \delta_i p_i;$$

геометрические

$$v_r = \prod_{i=1}^m (p_i)^{\delta_i};$$

квадратические

$$v_k = \sqrt{\sum_{i=1}^m \delta_i p_i^2},$$

где δ_i — вес единичного показателя качества; p_i — единичный показатель качества.

Наиболее часто используются геометрические, а арифметические и квадратические применяются лишь для упрощенных расчетов.

Точность оценки качества всецело зависит от обоснованности определения параметров весомости единичных показателей δ_i . Для этого применяют: метод стоимостных регрессионных зависимостей; метод предельных и номинальных значений; метод эквивалентных соотношений; экспертный метод.

Стоимостные регрессионные зависимости связывают показатели качества с затратами на создание и эксплуатацию машины.

Для комплексного геометрического показателя стоимостные регрессионные зависимости строят в виде выражения

$$\lg \frac{Z}{Z_{\text{ср}}} = \sum_{i=1}^m \mu_i \lg \frac{p_i}{p_i^{\text{ср}}},$$

где Z — затраты на создание проектируемой машины; $Z_{\text{ср}}$, $p_i^{\text{ср}}$ — усредненные затраты и показатели качества по существующим машинам данного типа; μ_i — параметр аппроксимации.

Параметр весомости показателя δ_i принимается при этом равным μ_i . Метод предельных и номинальных значений основывается на известных предельно допустимых и номинальных (среднестатистических) значениях показателей качества машин данного типа. Для комплексного геометрического показателя качества параметры весомости находятся по выражению

$$\delta_i = \lambda \lg \frac{p_i}{\bar{p}_i};$$

для арифметического

$$\delta_i = \frac{\lambda}{\bar{p}_i - \underline{p}_i},$$

где $\bar{p}_i$ — номинальное (среднестатистическое) значение показателя качества; $\underline{p}_i$ — предельное значение для показателя качества; λ — постоянный множитель.

Постоянный множитель λ рекомендуется выбирать таким, чтобы относительное изменение принятого средневзвешенного показателя было равно относительным изменениям затрат на создание и эксплуатацию машины.

Метод эквивалентных соотношений предполагает возможное уменьшение выпуска машин данного типа при увеличении показателя качества. Для комплексного геометрического показателя параметры весомости можно найти из выражения

$$\delta_i = \frac{\Delta \xi / \bar{\xi}}{\Delta p_i / \bar{p}_i}; \quad i = \overline{1, m},$$

где $\Delta \xi / \bar{\xi}$ — относительное изменение количества продукции; $\Delta p_i / \bar{p}_i$ — относительное изменение показателя качества.

Экспертный метод построен на оценке весомости показателей специалистами в области создания и эксплуатации данного типа объектов.

Практика показала преимущества и недостатки приведенных методов [29]. Для достижения большей достоверности в оценке качества рекомендуется вести расчет одновременно по двум или более методам, сравнивая в дальнейшем полученные результаты. Для того чтобы учесть затраты на проектирование и изготовление новой машины, можно воспользоваться интегральным показателем качества

$$J_k = \frac{P_{\Sigma}}{3_c + 3_a},$$

где P_{Σ} — суммарный полезный эффект (комплексный показатель качества); 3_c — суммарные капиталовложения в создание машины; 3_a — суммарные эксплуатационные (текущие) затраты.

В приведенной выше формуле суммарные затраты отнесены на один год. Срок службы машин обычно оказывается большим и поэтому все затраты за период службы машины необходимо привести к концу последнего года.

Тогда

$$3_c = 3_0 (1 + E_n)^t,$$

где 3_0 — суммарные затраты на создание машины к моменту ее выпуска; E_n — нормативный коэффициент экономической эффективности; t — срок службы продукции, лет;

$$3_a = 3_1 \sum_{l=1}^t (1 + E_n)^l, \quad l = \overline{1, t},$$

где 3_1 — годовые эксплуатационные затраты;

$$P_{\Sigma} = P_1 \sum_{l=1}^t (1 + E_n)^l,$$

где P_1 — годовой эффект от эксплуатации машины.

После подстановки и преобразований интегральный показатель качества машины определяется выражением

$$J_k^{(1)} = \frac{p_1}{3_0 \varphi(t) + 3_1},$$

где

$$\varphi(t) = \frac{(1 + E_H)^t}{\sum_{l=1}^t (1 + E_H)^l}$$

Для примера оценим уровень качества спроектированной дискофрезерной машины для нарезания щелей в мерзлом грунте. За базу для сравнения можно принять выпускаемую машину ЭТН-124.

Спроектированная машина и существующая отличаются друг от друга только видом рабочего оборудования, монтируемого на тракторе. В связи с этим нет необходимости учитывать все ранее перечисленные единичные показатели. Это относится, например, к показателям эргономическим, эстетическим и некоторым другим.

Воспользуемся оценкой качества на основе комплексного показателя, за который примем наиболее существенный из всех показателей с точки зрения народнохозяйственного эффекта — длину проходки щели L (м) за срок службы машины. Можно составить функциональную зависимость

$$L = T_0 \frac{T}{T + T_B + TK_{\text{проф}}} v, \quad (14)$$

где T_0 — срок службы, ч; T — наработка на отказ, ч; T_B — среднее время простоя за один отказ, ч; v — скорость проходки, м/ч; $K_{\text{проф}}$ — коэффициент, характеризующий долю времени, идущую на профилактику на 1 ч работы установки.

Значения единичных показателей и результаты расчета по формуле (14) для проектируемой и базовой машины приведены в табл. 6. Из нее следует, что дискофрезерная машина превосходит базовую по комплексному показателю. Если обратиться к показателю интегральному, то следует учесть превышение расходов по новой машине в связи с ее проектированием, подготовкой производства и изготовлением. Необходимые данные для расчета интегрального показателя приведены в табл. 7, по которой видно, что спроектированная дискофрезерная машина превосходит базовую по интегральному показателю, несмотря на то, что на ее создание необходимо в 2 раза больше средств, чем на приобретение машины ЭТН-124. Дискофрезерная машина (рис. 22) была изготовлена силами Управления механизации с привлечением студентов (участников СКБ) во время их

Таблица 6

Показатели качества машины для нарезания щелей
в мерзлом грунте

Показатели			Для базовой машины	Для проек- тируемой машины
Наименование	Обозна- чение	Размер- ность		
Срок службы	T_0	ч	6000	6000
Наработка на отказ	T	ч	40	50
Среднее время простоя за один отказ	$T_{\text{в}}$	ч	2	3
Скорость проходки	V	м/ч	15	30
Доля времени на профилакти- ку на 1 ч работы машины	$K_{\text{проф}}$	—	0,1	0,1
Длина проходки за срок службы	L	м	78 000	154 000

практики. Испытания подтвердили ожидаемую производительность. Машина вызвала определенный интерес среди производителей благодаря своей маневренности, простоте изготовления и достаточно высокой производительности. Вместе с экскаватором, приспособленным для крупного скола в массиве мерзлого грунта, разработанного строительным трестом, дискофрезерная машина представлялась на нескольких выставках. В 1977 г. комплект машин экспонировался на ВДНХ. Его создатели были удостоены медалей выставки.

Подробнее об особенностях разработанного комплекта машин можно узнать в [32].

Таблица 7

Расчет интегрального показателя качества машины
для нарезания щелей в мерзлом грунте

Показатели			Для базовой машины	Для проек- тируемой машины
Наименование	Обозна- чение	Размер- ность		
Годовой эффект от эксплуата- ции машины	Π_1	м	15 000	31 000
Суммарные затраты на приоб- ретение	Z_0	руб.	5000	10 000
Годовые эксплуатационные за- траты	Z_1	руб.	2000	1500
Нормативный коэффициент эффективности	E_H	—	0,12	0,12
Срок службы	t	лет	5	5
Значение интегрального пока- зателя	$J_k^{(1)}$	м/руб	4,6	6,9

В итоге уместно вспомнить о целях проектирования, приведенного в качестве примера, объекта техники. Все наиболее важные из них были достигнуты. Производство своевременно получило машину; на кафедре была подготовлена диссертационная работа; двое из участников студенческого конструкторского бюро имели возможность при защите своих дипломных проектов представить реальную разработку, внедренную в производство.

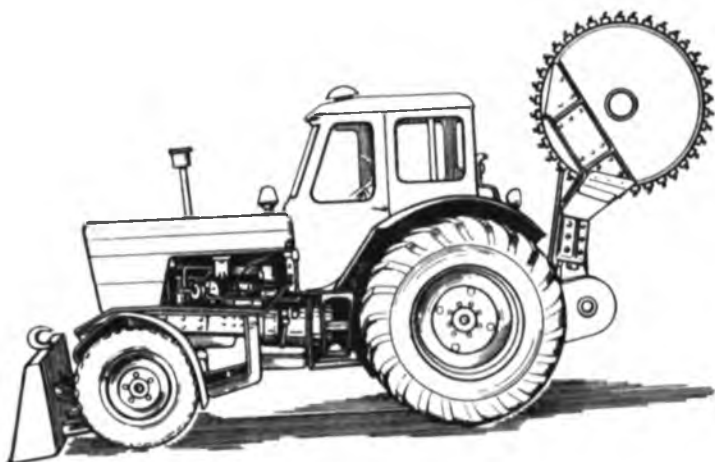


Рис. 22. Дискофрезерная машина для нарезания щелей в мерзлом грунте

Вообще дипломные проекты участников СКБ существенно отличаются от обычных. Это и не случайно. То, что они делают в СКБ, затем воплощается в дипломный проект, а начинают свою работу некоторые из студентов с первого курса.

Участники СКБ чаще других получают дипломы с отличием, рекомендацию для поступления в аспирантуру, удостоиваются именных премий за лучший дипломный проект.

6. РАЗВИТИЕ САПР В МАШИНОСТРОЕНИИ

6.1. Организация программного обеспечения

Студенческое конструкторское бюро кафедры «Строительные и дорожные машины и оборудование» ЛИИЖТа в последние годы принимает активное участие в создании САПР. Работа эта ведется кафедрой в творческом сотрудничестве с Всесоюзным научно-исследовательским институтом землеройного машиностроения (ВНИИземмаш). В ходе предпроектных ис-

следований по САПР студенты вместе с сотрудниками кафедры и ВНИИземмаш собирали сведения о методах традиционной разработки землеройной и мелиоративной техники, об объектах проектирования.

В основу дальнейшей работы по созданию САПР по ВНИИземмаш, входящей в комплексную программу по линии СЭВ, положены принципы, изложенные в методическом пособии.

В настоящее время создается программное обеспечение и студенты старших курсов принимают в этом активное участие. Некоторые, окончив институт, направлены по распределению во ВНИИземмаш и продолжают там работу самым непосредственным образом.

Программное обеспечение САПР, реализующее изложенную методику, представляет собой программы для ЭВМ, входящие как в проектирующую подсистему, так и в обслуживающую. Все программы автоматизированного проектирования составляют пакет прикладных программных средств, ориентированных на решение задач проектирования определенного класса технических систем. В пакет прикладных программ (ППП) входят: монитор, т. е. управляющая программа, и набор программных модулей. Монитор управляет функционированием пакета и обеспечивает связь с проектировщиком. Программный модуль представляет собой программу выполнения определенной операции или целой процедуры.

На рис. 23 представлена схема, иллюстрирующая состав ППП. На ней показаны программы, реализуемые на определенных этапах проектирования; информационные массивы, составляющие содержание базы данных; связи между массивами и программами, программами и конструктором.

Массив M1 содержит данные, отражающие все существующие технические системы данного класса, включая отечественные и иностранные образцы. В него должны включаться и результаты законченных проектных разработок. Массив постоянно пополняется. Каждый его элемент представляет запись, содержащую сведения о технико-экономических показателях объектов техники и их конструктивных схемах. Набор технико-экономических показателей определяется классом объектов техники, в качестве которого выбирается показатель, в наибольшей степени характеризующий потребительские свойства объекта, и от которого зависят другие показатели.

Массив M2 объединяет сведения о развитии объектов данного класса технических систем и факторов их окружения. По запросу, обращенному к массиву, должна быть получена информация о требованиях к объекту проектирования к моменту его реализации. В число этих требований входят научно-технические, социальные, экологические и экономические.

Весь массив в совокупности назван сценарием развития технических объектов данного класса. Состоит он из отдельных разделов, отражающих прогнозы изменения главного и основных параметров, а также всех выделенных факторов окружения. Массив составляется в момент создания автоматизированной

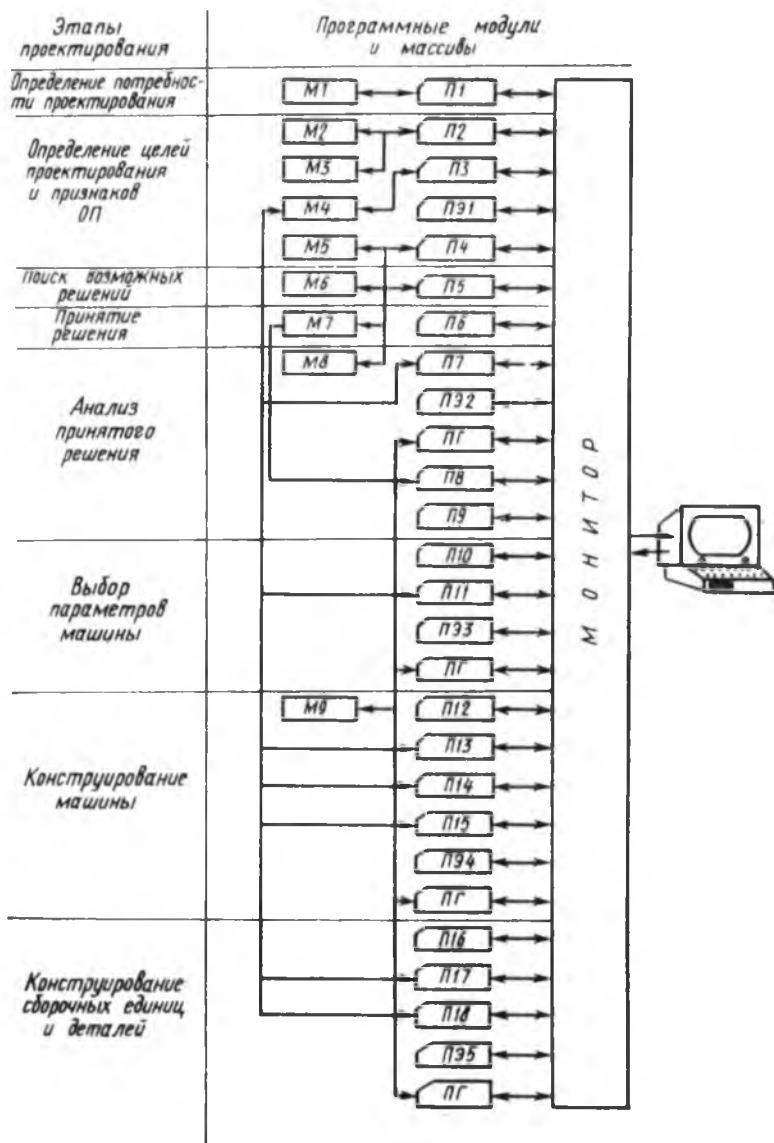


Рис. 23. Схема организации ППП для САПР объектов новой техники

системы проектирования, а в дальнейшем пополняется и корректируется.

Массив М3 формулируется на базе М2. Он представляет собой граф, вершины которого образуют множество целей, а ребра — связи между ними. В результате обращения к массиву по программе П2 производится ранжирование элементов подмножества A_0 , выбранного для данного проектирования.

Массив М4 содержит требования всех действующих в данной области техники ГОСТов и ведомственных стандартов. Это наиболее часто используемый массив. К нему обращаются практически все программы пакета.

Массив М5 представляет собой матрицу соответствия между множеством целей и множеством признаков. В качестве последних, как указывалось ранее, выступают показатели качества объектов внутри данного класса технических систем.

Массив М6 описывает И-ИЛИ — дерево технических решений. Оно содержит в качестве вершин подсистемы и элементы, относящиеся к данному классу технических систем.

Массив М6 составляется в момент разработки САПР, а в дальнейшем постоянно пополняется за счет массивов М1, М7, М8.

Массив М7 хранит авторские свидетельства и патенты, относящиеся к данному классу технических систем.

Массив М8 охватывает все физические эффекты, которые используются для поиска вариантов технических решений.

Массив М9 содержит описание конструктивных модулей, агрегатов, базовых изделий, основных деталей машин и гиповых структурных компоновок. Обращение к нему происходит из программ графического отображения проектируемого объекта.

Программа П1 реализует алгоритм принятия решения о необходимости выполнения проектной разработки.

Программа П2 предназначена для выбора подмножества целей проектирования среди полного множества с ранжированием их по важности.

Программа П3 оказывает содействие проектировщику в разработке технического задания.

Программа П4 — анализ функций технических систем. Анализ заключается в иерархическом разделении технических систем на конструктивные подсистемы и элементы, в описании их функций и построении графа функционального взаимодействия. Описание объекта проектирования на данном этапе охватывает все возможные технические решения и тем самым формирует их полное множество.

Программа П5 — поиск вариантов технических решений объекта проектирования. Варианты реализуются путем отыскания технических решений, вступающих в бинарные отношения

с выбранными признаками. В процессе ее выполнения производится обращение к массивам М6, М7 и М8.

Программа П6 — выбор оптимального варианта — реализует отображение на множество оценок выбранного подмножества технических решений и выбор такого из них, которому соответствует оптимум основной функции проектирования.

Программа П7 связана с оформлением технического предложения; программа П8 — с проверкой принятого технического решения на патентную чистоту.

Не станем подробно рассматривать содержание последующих программ. Они реализуют хорошо освещенные в литературе процедуры проектирования. Ограничимся лишь названием программ:

П9 — структурный и кинематический анализ;

П10 — выбор оптимальных параметров объекта проектирования;

П11 — разработка эскизного проекта;

П12 — динамический анализ;

П13 — художественное конструирование;

П14 — эргономическое конструирование;

П15 — разработка технического проекта;

П16 — оценка технического уровня объекта проектирования;

П17 — расчет деталей машин и других конструктивных элементов и узлов (модулей);

П18 — разработка рабочей документации.

В особую группу выделены программы ПЭ — оценки экономической эффективности на различных этапах проектирования и ПГ — графического отображения информации.

— 6.2. Методика проектирования на основе САПР

У читателя, познакоившегося с изложенной концепцией методического обеспечения САПР, очевидно, может возникнуть вопрос: как будет проходить процесс проектирования, если удастся реализовать все изложенное? Попытаемся ответить на этот вопрос.

Воспользуемся ранее изложенной процедурной моделью, используя в ней программы, которые входят в САПР. Предполагаем, что работа конструктора организована на базе АРМ с необходимыми техническими и программными средствами.

Конструктор, получив заявку на проектирование объекта технической системы, должен убедиться прежде всего в том, что работа по проектированию действительно необходима. Для этого он вызывает программу П1 определения потребности проектирования, используя видеотерминал в качестве основного средства диалога с ЭВМ.

Программа предлагает конструктору выполнить ряд операций. Во-первых, убедиться в том, что заявленного объекта не существует в нашей стране. Здесь же может быть установлено — не выполнялись ли ранее проектные разработки по подобным объектам. Тому и другому поможет обращение к базе данных по существующим техническим системам и завершенным проектам.

Во-вторых, напомнить конструктору, что заданный объект проектирования может входить в число средств, обеспечивающих определенный технологический процесс, изменения в котором могут отразиться на потребности в самом объекте. Это должно снизить вероятность появления необоснованных проектных разработок. В объектно-ориентированную САПР может и не входить формализация выполнения такой операции. В этом случае она выполняется конструктором, который сообщает ЭВМ в форме ответов «да» или «нет» свое решение о необходимости проектной разработки с учетом возможного изменения технологического процесса.

В-третьих, программа обращением к БД по существующим зарубежным образцам ответит на вопрос о существовании зарубежных аналогов и предложит конструктору задуматься над возможностью их приобретения. Если приобретение объекта за рубежом не исключается, то может быть вызвана программа определения экономической эффективности импорта.

В-четвертых, программа дает возможность убедиться в экономической целесообразности создания объекта по параметрам, указанным в заявке. В случае, если целесообразность не подтверждается, могут быть определены необходимые изменения в исходных данных на проектирование.

Работа программы завершается сообщением о том, нужно или нет выполнять проектирование и почему принято то или иное решение. Убедившись в необходимости проектирования заявленного объекта, конструктор может перейти к выбору целей. Предварительно он может ознакомиться с особенностями развития технических систем, в область которых входит объект проектирования, установить прогнозные показатели и требования к объекту исходя из факторов его окружения. Все это позволит сделать обращение к массиву информации, определяющему сценарий технических систем.

Программа выбора целей П2 предложит полное множество целей на всех уровнях интересов общества. Конструктор, руководствуясь заявкой, сценарием развития и собственными соображениями, отвечая на запрос ЭВМ, отбирает из полного множества некоторые цели, а при необходимости включает в их перечень и дополнительные. Вслед за этим ЭВМ запрашивает конструктора о наличии попарной взаимосвязи дополнительных целей с теми, которые входят в полное множество, и о весе всех

целей на каждом уровне общественных интересов. После ввода этой информации программа скорректирует веса целей с учетом их взаимосвязи и дает конструктору перечень целей в ранжированной последовательности по их весу. Просмотрев список, конструктор окончательно отбирает цели проектирования и дает команду запомнить их. На этом завершается работа программы и выполнение второй процедуры проектирования.

Приступая к третьей процедуре, конструктор вызывает программу определения основных признаков объекта. Обращением к БД будут выбраны признаки, отвечающие тем из целей, которые входили в полное множество. Если конструктором были указаны дополнительные цели, то программа попросит его по каждой из них сообщить, к какому подмножеству признаков они относятся, выведет на экран видеотерминала все элементы этого подмножества и вновь обратится с просьбой указать на такие признаки, как элементы подмножества, которые конструктор считает необходимым учесть. Поступив так со всеми дополнительными целями, программа перейдет к установлению значений признаков. Некоторые из них вводятся конструктором в ответ на запрос, другие вычисляются в ходе обращения к соответствующим подпрограммам. В итоге будет сформировано множество признаков и их значений, которыми должен обладать объект проектирования для удовлетворения поставленных целей.

В рамках традиционного проектирования после выполнения первых трех процедур составляется техническое задание (ТЗ). Для оказания помощи конструктору предусмотрен комплекс программ П4. В него входит программа составления текста технического задания, оформления карты технического уровня и качества продукции, экономического расчета и расчета норм надежности.

После вызова программы составления текста ТЗ конструктору в ответ на запросы ЭВМ необходимо ввести исходную информацию, предусмотренную заявкой и условиями проведения работ, включая фамилии разработчиков проекта, наименование организаций и фамилии лиц для согласования, завод-изготовитель, некоторые другие подобные данные.

Выбранные цели проектирования и признаки объекта будут включены программой как переменная информация в соответствующие места ТЗ.

По команде конструктора текст ТЗ, включающий исходную, переменную и постоянную информации в предусмотренном программой формате, будет выведен вначале на видеотерминал, а после его редактирования и на печатающее устройство. На этом завершается первая стадия проектирования. Объект получает концептуальное описание.

Вторая стадия предусматривает разработку технических предложений. Приступая к ней, конструктор вызывает програм-

му поиска вариантов технических решений. По ней происходит обращение к массиву информации, представленной И-ИЛИ—деревом технических решений или семантической моделью. И то и другое аккумулирует знания о технических системах определенного класса, включая сведения по уже созданным объектам, заключенным в проектах, авторских свидетельствах и патентах.

При поиске вариантов по И-ИЛИ—дереву программным путем будут создаваться варианты объекта их описанием, включающим вершины И-ИЛИ—дерева в соответствии с алгоритмом, изложенным в разделе 4.4. Используя программы графического отображения, описание может быть представлено в виде компоновки из включенных в него элементов на экране видеотерминала или на графопостроителе.

При использовании семантического моделирования конструктору необходимо по концептуальному описанию, включающему цели проектирования и признаки объекта, составить описание функциональное, а по нему схему логических связей в соответствии с рекомендациями раздела 4.4. По логической схеме связей будет выбрана из БД структурная схема, которая и составит вариант объекта проектирования. Здесь, как и в первом случае, описание варианта может быть представлено в виде графического отображения с указанием наименований составных элементов.

Количество вариантов объекта проектирования, полученное с помощью ЭВМ, зависит от мощности множества комбинаций на И-ИЛИ—дереве или в рамках семантической модели. При необходимости конструктор может ограничить поиск вариантов указанием их количества или пределом времени выполнения процедуры.

Среди вариантов могут оказаться абсурдные, которые конструктор сразу исключает из дальнейшего рассмотрения. В некоторые из вариантов могут быть внесены изменения или дополнения и конструктор может сам предложить свои варианты решений.

Сформировав таким образом множество вариантов технических решений объекта проектирования, следует перейти к выбору оптимального. Для выполнения этой процедуры вызывается соответствующая программа П6. Она прежде всего предложит конструктору отобрать из множества признаков те из них, которые будут использованы в качестве критериев для оценки. К числу таких признаков следует отнести наиболее существенные для достижения выбранных целей проектирования. Абсолютный вес признака-критерия будет присвоен программой в соответствии с весом цели проектирования, к которой он принадлежит. По абсолютным весам будут найдены относительные так, что их сумма по всем критериям окажется равной единице. Вслед за этим программа предложит конструктору принять решение о дальнейших действиях по трем возможным направле-

ниями. Первое — продолжить поиск вариантов, так как не исключается, что оптимальное решение еще не найдено. Второе — выполнить предварительный анализ вариантов для более обоснованного их сравнения. Третье — приступить к выбору оптимального варианта из уже полученных, руководствуясь лишь экспертной оценкой их признаков. Программа поможет конструктору обоснованно, с учетом конкретной ситуации выбрать одно из указанных направлений действия.

При выборе третьего направления программа перейдет к оценке вариантов. Если их число невелико, то оценке подвергается каждый. В противном случае варианты группируются по некоторым конструктивным или функциональным особенностям. Среди каждой группы выделяется наиболее типичный представитель. В дальнейшем оценка этого представителя распространяется на всю группу. Теперь конструктор должен дать оценку всем вариантам в 10-балльной системе по каждому критерию. Таким образом с учетом важности критериев программа установит приоритет вариантов. За оптимальный принимается вариант с наивысшим приоритетом. Если им оказался представитель целой группы, то процедуру оценки вариантов следует повторить внутри группы.

При выборе второго направления следует обратиться к анализу вариантов, что может быть выполнено с помощью специальной программы из комплекса П7. В результате станет возможным произвести оценку вариантов вычислительным методом.

При выборе *первого* направления достраивается множество вариантов объекта проектирования включением в него новых технических решений, вырабатываемых самим конструктором или ЭВМ при повторном обращении к программе поиска вариантов, после чего конструктор вновь обращается к выбору оптимального варианта.

Выбранный в качестве оптимального вариант подвергается тщательному анализу, для чего предусматривается комплекс программ П7. Метамодели, описывающие объект как комплекс технических систем, позволят установить достигаемый от его содания и применения народнохозяйственный эффект.

Макромодели дадут возможность получить количественную оценку показателей по признакам объекта. В частности, применительно к технологическим машинам: усилия на исполнительном органе; нагрузки, действующие на звенья механизмов; передаточные отношения, потребную мощность привода, скорости и ускорения звеньев и др.

В комплекс П7 включается обширный перечень программ, реализующих аналитические методы структурного, кинематического и динамического анализа, используемые традиционно в области техники, к которой принадлежит объект проектирования. В программное обеспечение анализа включаются и объект-

но-независимые (инвариантные) ППП, в частности для имитационного моделирования.

В результате выполнения процедуры анализа объекта будет установлена его работоспособность, экономическая эффективность, функциональная связь основных параметров, числовые значения некоторых из них.

Процедура поиска вариантов объекта, выбора из них оптимального и его анализа составляет *вторую* стадию проектирования, оформляемую в виде технических предложений. Если техническим заданием предусмотрен выпуск конструкторских документов на этой стадии, то следует воспользоваться комплексом программ П8, включающим программы оформления пояснительной записки и ведомости технических предложений, чертежа общего вида, таблиц, расчетов.

Третья и последующие стадии проектирования связаны с конструктивным воплощением выбранного варианта объекта. Правда, третья стадия связана пока лишь с эскизной конструктивной проработкой. Приступая к ней, конструктор должен выбрать значения всех основных параметров. Некоторые из них в ходе анализа определены заявкой на проектирование, ГОСТами; другие могут варьироваться в заданных пределах.

Для оптимизации параметров конструктор в зависимости от выбранного им метода вызывает соответствующую программу из комплекса П10. В комплекс входят программы выбора параметров машин по имеющимся аналогам, на основе моделирования и программы, реализующие методы решения экстремальных задач, в частности весьма удобный и универсальный метод Соболя — Статникова.

По найденным значениям основных параметров вносятся коррективы в компоновку машины. При этом учитывается возможность использования унифицированных узлов, выявляются условия объекта и его технического обслуживания.

Инженер-технолог совместно с конструктором выявляют условия подготовки производства и с этих позиций также вносят некоторые коррективы в общую компоновку. Художник-конструктор эскизно прорабатывает внешнюю форму объекта.

Если предусмотрен выпуск конструкторской документации на стадии эскизного проекта, то вызываются программы из комплекса П11. Они позволяют вносить коррективы в чертеж основного вида, оформлять пояснительную записку, составлять ведомость согласований применения покупных изделий, программу и методику испытаний.

Эскизная проработка объекта позволяет приступить к окончательному конструктивному его воплощению, что выполняется на четвертой стадии проектирования — разработка технического проекта. Здесь конструктор должен выбрать все параметры, характеризующие не только объект в целом, но и его составные

части. Для этого требуется провести тщательный динамический анализ механизмов с учетом особенностей характера действующих на него нагрузок. Математические модели, используемые на этом этапе, относятся к микромоделям. Предусмотренный для этого анализа комплекс программ поможет конструктору описать исследуемый механизм в виде системы дифференциальных уравнений, последующее интегрирование которой установит характер и параметры движения всех звеньев; силы, действующие на них и в кинематических парах. В комплекс входит ППП расчета на прочность методом конечных элементов, программы расчета деталей машин, гидропривода, систем управления, других подсистем машины.

Особыми комплексами выделены программы художественного и эргономического конструирования. Они представляют художнику-конструктору возможность отработать форму объекта, не прибегая к макетированию за счет аксонометрических, изометрических изображений, пропорционирования и масштабирования, цветового решения.

Программа эргономического конструирования предоставляет возможность обоснованно выбирать требуемый уровень комфорта в кабине оператора исходя из лимитной цены машины и условий ее эксплуатации; составляет текстовое или графическое описание рабочего места, обеспечивающего выбранный уровень комфорта; определяет эргономические показатели.

Разрабатывая составные части объекта, конструктор использует БД по конструктивным модулям, агрегатам, базовым изделиям, типовым структурным компоновкам. Конструктивные модули используются без изменений. В базовые изделия и агрегаты могут быть внесены конструктивные доработки по присоединительным элементам. Типовые структурные компоновки представляют конструктору лишь принципиальные решения механизма, требующие конкретизации по выбранным параметрам.

Для оформления технического проекта предусмотрен комплекс программ П15. Обратившись к нему, конструктор может воспользоваться программами оформления пояснительной записки; составления ведомости технического проекта, ведомостей покупных изделий; оформления технических условий, программы и методики испытаний; оформления патентного формуляра. Некоторые из этих программ используются и на более ранних стадиях проектирования. Их алгоритм предусматривает разный уровень детализации описаний объекта в соответствии со стадией проектирования.

Технический проект дает окончательное техническое решение и полное представление об объекте проектирования. По нему уже можно достаточно точно судить о техническом уровне и качестве изделия. Определить их показатели поможет специальный комплекс программ П16. Входящие в него программы используются

и на более ранних стадиях проектирования, однако в полном объеме весь комплекс используется лишь в завершении технического проекта.

На стадии разработки рабочей документации конструктор выполняет разработку сборочных единиц и деталей. Для этого он использует общие виды составных частей, выполненные на стадии технического проекта, конкретизируя их размерами, обозначениями посадок и других соединений, техническими требованиями и указаниями, обеспечивающими полную и непротиворечивую информацию для сборки соответствующих узлов.

В процессе работы с чертежом конструктор, используя комплекс П18 разработки рабочей документации, получает возможность вносить коррективы и дополнения на экране видеотерминала. Он обращается к массиву информации по ГОСТам, регламентирующим правила выполнения чертежей, к нормативным документам по посадкам и другим видам соединений. Специальная программа обеспечит составление спецификации на сборочный чертеж.

Работая над детализовкой, конструктор использует типовые конструктивные решения, вызывая их из массива конструктивных элементов в БД, согласно «меню». Оригинальные детали выполняются построением на экране видеотерминала с помощью базовых графических элементов (прямых, дуг, окружностей и др.) с последующим получением твердой копии изображения на графопостроителе. В расчете геометрии деталей машин, их массы, в выборе точности изготовления и чистоты обработки, в расчете размерных цепей поможет комплекс программ П17.

Приведенная методика проектирования пока полностью не реализована. Однако для ее воплощения в практику есть объективные предпосылки.

6.3. Рекомендации к разработке и внедрению САПР

В настоящее время большинство проектных организаций и научно-исследовательских институтов, занимающихся опытно-конструкторскими работами, в той или иной мере внедряют элементы и подсистемы САПР, преодолевая в общем-то одинаковые трудности. Они связаны с недостаточной обеспеченностью техническими средствами; с их надежностью; с отсутствием необходимого программного обеспечения; с организационной неустроенностью. Весьма важен для внедрения САПР и человеческий фактор. Нужно учитывать, что САПР стал внедряться в практику проектирования объектов машиностроения достаточно широко лишь в течение последнего десятилетия. Опыт ведущих конструкторов сложился в рамках традиционного ручного проектирования, и этот опыт позволяет создавать машины, отвечающие научно-техническому прогрессу, что порождает

дает пока еще осторожное отношение многих конструкторов к САПР. И это во многом обоснованно. Большинство созданных подсистем САПР реализуют достаточно сложные методики и алгоритмы расчетных операций, без которых конструкторы ранее обходились. Вот почему нередко случаи, когда имеющиеся в проектной организации достаточно мощные ППП, приобретенные со стороны, не используются.

Там, где САПР начинает внедряться, весьма полезным окажется проведение предпроектных исследований. Они позволят установить готовность организации к созданию САПР. Автоматизация проектирования не означает лишь приобретение технических средств — ЭВМ и ее периферийных устройств. Она связана и со значительно более трудоемкими работами по другим видам обеспечения: методическому, математическому, программному, лингвистическому, информационному, организационному. Создание САПР — достаточно длительный процесс, требующий к тому же немалых капитальных вложений и привлечения высококвалифицированных специалистов, а также готовность конструкторов к овладению навыков общения с ЭВМ. От некоторых из них потребуется и помощь в разработке математического и программного обеспечения.

Во многих проектных организациях вводится должность главного конструктора САПР, которому подчиняется группа, лаборатория или отдел в зависимости от масштабов САПР. Главный конструктор должен хорошо разбираться в методическом обеспечении САПР, знать применяемые в организации методы проектирования, видеть перспективы их совершенствования. Лучше всего, если главный конструктор САПР выдвигается из числа молодых, но достаточно опытных конструкторов, прошедших специальную переподготовку по автоматизации проектирования. Весьма полезным оказывается участие в создании САПР ученых, преподавателей и студентов соответствующих вузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация конструкторского проектирования / Под ред. А. И. Половинкина. М., 1981.
2. Автоматизация проектирования и конструирования // II Всесоюзное совещание. Тезисы докладов. М., 1983.
3. Автоматизация проектирования в машиностроении. Минск, 1983. Вып. 3.
4. Автоматизированная система формирования проектной информации по материальным ресурсам (АСПИР, Редакция 5.2). М., 1984.
5. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / Ю. М. Соломенцев, В. Г. Митрофанов, А. Ф. Прохоров и др.; Под ред. Ю. М. Соломенцева, В. Г. Митрофанова. М., 1986.
6. Алгоритмы оптимизации проектных решений / Под ред. А. И. Половинкина. М., 1976.
7. Альтшуллер Г. Алгоритм изобретения. М., 1969.
8. Анискин Ю. П. Новая техника: повышение эффективности создания и освоения. М., 1985.
9. Артоболевский И. И. Теория механизмов. М., 1965.
10. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике. Справочное пособие. В 7 томах. Т. IV: Зубчатые механизмы. 2-е изд., перераб. М., 1980.
11. Баловнев В. И. Проектирование дорожно-строительных машин с использованием оборудования САПР. М., 1980.
12. Борисов В. И. Общая методика конструирования машин. М., 1978.
13. Брянский Ю. А., Грифф М. И., Чурилов В. А. Тягачи строительных и дорожных машин. М., 1976.
14. Быков В. П. Машина для нарезания щелей в мерзлом грунте / Сб.: Исследование конструкции, надежности и организации ремонта строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин. Л., 1984. С. 13—18.
15. Быков В. П. К математическому обеспечению автоматизированного проектирования строительных машин / Сб.: Исследование конструкции, надежности и организации ремонта строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин. Л., 1984. С. 10—16.
16. Быков В. П. Методика проектирования машин с применением элементов САПР. Л., 1986.
17. Введение в эргономику / Под ред. В. П. Зинченко. М., 1974.
18. Волков Д. П., Николаев С. Н. Надежность строительных машин и оборудования. М., 1979.
19. Гаспарский В. Психологический анализ проектно-конструкторских разработок: Пер. с польск. / Под ред. А. И. Половинкина. М., 1978.
20. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания. М., 1977.
21. Гюмюшский В. Г., Флиорент Г. И. Теоретические основы инженерного прогнозирования. М., 1973.
22. Гущин В. Ф. Художественно-конструкторская проработка изобретений. Л., 1975.
23. Дворянкин А. М., Половинкин А. И., Соболев А. Н. Методы синтеза технических решений. М., 1977.

24. Джонс Дж. К. Методы проектирования. М., 1986.
25. Дабагян А. В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств. М., 1979.
26. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений: Пер. с англ. М., 1968.
27. Дитрих Ян. Проектирование и конструирование: системный подход. М., 1981.
28. Дружинский И. А. Слагаемые качества конструкторских работ. Л., 1977.
29. Дубровский Ю. В. Определение параметров весомости показателей качества строительных и дорожных машин / Сб.: ВНИИСстройдормаш. М., 1974. С. 25—30.
30. Зарипов Р. Х. Машинный поиск вариантов при моделировании творческого процесса. М., 1983.
31. Зеленин А. Н., Баловнев В. И., Керов И. П. Машины для земляных работ. М., 1975.
32. Зеленцова Л. И. Машины для разработки мерзлых грунтов // Механизация строительства. 1976. № 3. С. 8—9.
33. Иванов Д. В. Экономика рядов машин. М., 1976.
34. Инженеру о изобретении / Под ред. Н. М. Зенкова. М., 1976.
35. Карманов В. Г. Математическое программирование. М., 1975.
36. Коршунов А. М., Монтанов В. В. Теория отражения и эвристическая роль знаков. М., 1974.
37. Крик Э. Введение в инженерное дело. М., 1970.
38. Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д. Программирование и алгоритмические языки. М., 1979.
39. Лисичкин В. А. Теория и практика прогностика. М., 1972.
40. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках: Пер. с нем. М., 1984.
41. Методика отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения // Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР. М., 1975.
42. Методика оценки уровня качества продукции с помощью комплексных показателей и индексов // Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР. М., 1974.
43. Методические указания. Системы автоматизированного проектирования. Язык представления графической и текстовой информации. РД 50-445-89. М., 1984.
44. Миндлин Я. Э. Логика конструирования. М., 1969.
45. Михалевич В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. М., 1982.
46. Напалков А. В., Прагина Л. Л. Мозг человека и искусственный интеллект. М., 1985.
47. Норенков И. П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. М., 1986.
48. Орлов П. И. Основы конструирования. М., 1977.
49. Основные характеристики отечественных СУБД и ИПС. Киев, 1980.
50. Патентоведение. Учебник для вузов / Е. И. Артемьев, М. М. Богуславский, Р. П. Вчерашний и др. / Под ред. В. А. Рясенцева. М., 1984.
51. Построение современных систем автоматизированного проектирования / Под ред. К. Д. Жука. Киев, 1983.
52. Программные средства САПР: Специализированный фонд НПО «Центропрограммсистем». Каталог. Калинин, 1982.
53. Прохоров А. Ф. Конструктор и ЭВМ. М., 1987.
54. Рабочая методика оценки технического уровня и качества землеройных машин (Номенклатура ВНИИземмаш). Л., 1977.
55. САПР. Общие принципы разработки математических моделей объектов проектирования: Методические указания. М., 1980.

56. САПР изделий и технологических процессов в машиностроении / Р. А. Аллик, В. И. Бородянский, А. Г. Бурин и др. / Под ред. Р. А. Аллика. Л., 1981.
57. Сидоров А. И. Основные принципы проектирования и конструирования машин. М., 1929.
58. Соболев И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М., 1981.
59. Сомов Ю. С. Композиция в технике. М., 1977.
60. Тихаев В. С., Поварич М. П. Синтез граф-схем алгоритмов выбора решений. Минск, 1974.
61. Творчество в научном познании / Под ред. Д. И. Широкова. Минск, 1976.
62. Теория прогнозирования и принятия решений / Под ред. С. А. Саркисяна. М., 1977.
63. Алабужев П. М. и др. Теория подобия и размерностей. Моделирование. М., 1968.
64. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин. М., 1977.
65. Ханзен Ф. Основы общей методики конструирования: Пер. с нем. Л., 1969.
66. Хилл П. Наука и искусство проектирования: Пер. с англ. М., 1978.
67. Холл А. Опыт методологии для системотехники: Пер. с англ. М., 1978.
68. Чернов Л. Б. Основы методологии проектирования машин. М., 1978.
69. Экономика машиностроения / Е. М. Карлик, К. М. Великанов, В. Ф. Власов и др. / Под ред. Е. М. Карлика. Л., 1985.
70. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. М., 1975.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Современное воззрение на процесс и объект проектирования	7
1.1. Проектирование как вид трудовой деятельности	7
1.2. История развития методов проектирования	10
1.3. Основные сведения о САПР	14
1.4. Основные понятия о качестве и патентной чистоте объектов новой техники	22
2. Основы методики проектирования	26
2.1. Проектирование с позиций марксистско-ленинской теории отражения	26
2.2. Проектирование и искусственный интеллект	34
2.3. Основные понятия и принципы методологии проектирования	37
2.4. Процедурная модель проектирования	42
2.5. Математическая модель объекта проектирования	47
3. Процедуры на стадии технического задания	50
3.1. Определение потребности проектирования	50
3.2. Определение целей проектирования	55
3.3. Определение основных признаков объекта проектирования	76
3.4. Техническое задание	78
4. Процедуры на стадии технических предложений	79
4.1. Поиск возможных технических решений	79
4.2. Принятие решения	96
4.3. Анализ принятого решения	107
4.4. Техническое предложение	122
5. Процедуры на стадиях эскизного и технического проектов	123
5.1. Выбор параметров объекта проектирования	123
5.2. Эскизный проект	131
5.3. Конструирование объекта проектирования	133
5.4. Технический проект	146
5.5. Оценка уровня качества машины	147
6. Развитие САПР в машиностроении	152
6.1. Организация программного обеспечения	152
6.2. Методика проектирования на основе САПР	156
6.3. Рекомендации к разработке и внедрению САПР	163
Список литературы	165