

М. М. КУЗНЕЦОВ
Л. И. ВОЛЧКЕВИЧ
Ю. П. ЗАМЧАЛОВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ ПРОФ. Г. А. ШАУМЯНА

Издание второе, переработанное и дополненное

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебника для студентов машиностроительных
специальностей вузов



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1978

Рецензенты:

1. *Кафедра автоматизации* Тульского политехнического института.
2. Доктор технических наук, профессор *А. В. Чувпило*.

Кузнецов М. М. и др.

К89 Автоматизация производственных процессов. Под ред. *Г. А. Шаумяна*. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Высш. школа», 1978.

431 с. с ил.

Перед загл. авт.: М. М. Кузнецов, Л. И. Волчкович,
Ю. П. Замчалов.

В учебнике рассмотрены проблемные вопросы автоматизации производственных процессов, в том числе пути и перспективы развития автоматизации в машиностроении; принципы построения автоматических систем машин; методы выбора оптимального варианта автоматизации. Большое внимание уделено вопросам анализа и синтеза машин и систем машин с управлением от ЭВМ.

Предназначается для студентов машиностроительных вузов по курсу «Автоматизация производственных процессов» и может быть полезным инженерно-техническим и научным работникам НИИ, КБ и заводов, работающим в области автоматизации.

К $\frac{30102-062}{001(01)-78}$ 77-78

603

Со времени выхода в свет первого издания учебника «Автоматизация производственных процессов» произошли значительные изменения не только в масштабе и уровне решения задач автоматизации производства, но и в уровне преподавания соответствующих дисциплин в высших учебных заведениях.

На первых этапах своего развития автоматизация охватывала главным образом процессы механической обработки таких массовых изделий, как блоки цилиндров двигателей, кольца подшипников, ступенчатые валы, поршни и т. д.

В последние годы широким фронтом развертывается автоматизация литейного, штамповочного производства, термической и химической обработок; все большее количество автоматических линий создается не только в автомобильной, тракторной, подшипниковой промышленности, но и в других отраслях.

Значительное применение получили новейшие системы управления на электронной основе и прежде всего системы программного управления. Ближайшей перспективой является создание и внедрение в машиностроении автоматизированных технологических комплексов с автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУ ТП) на основе использования вычислительной техники. Широкое использование ЭВМ для решения задач управления машинами и системами машин с реализацией не только непосредственных функций управления, но и организационно-экономических функций контроля и управления производством позволит решить задачи автоматизации на более высоком уровне, создать основу решения задач комплексной автоматизации не только массового, но и серийного производства.

Непрерывное возрастание работ по автоматизации и механизации производства непосредственно вытекает из решений партии и правительства, в том числе из директив по десятому пятилетнему плану, принятых XXV съездом партии, и новой Конституции СССР (статья 21).

Все эти тенденции, характерные для развития автоматизации не только в нашей стране, но и в наиболее развитых зарубежных странах, нашли свое отражение в данном учебнике.

Первое издание, выпущенное в 1967 г., явилось первым учебником по автоматизации в машиностроении и поэтому охватило по существу весь комплекс вопросов, связанных с автоматизацией на различных стадиях (машины-автоматы, автоматические линии и т. д.). За истекший период времени появился целый ряд монографий и учебных по-

собий, в которых достаточно подробно рассмотрены вопросы построения полуавтоматов и автоматов, их систем управления и целевых механизмов, методы их расчета и конструирования [2], [11] и [22]. Это позволило сократить круг вопросов, рассмотренных в учебнике, привести их в соответствие с программой и содержанием курса «Автоматизация производственных процессов», читаемого на кафедре «Станки и автоматы» МВТУ им. Н. Э. Баумана. Теоретической основой учебника по-прежнему является теория производительности машин и труда, основоположником которой явился профессор *Г. А. Шаумян*, один из крупнейших ученых — специалистов по вопросам автоматизации производственных процессов в машиностроении.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ
О МЕТОДОЛОГИИ И НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
ОСНОВЕ КУРСОВ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Автоматизация производственных процессов есть комплекс мероприятий по разработке новых прогрессивных технологических процессов и проектированию на их основе высокопроизводительного технологического оборудования, осуществляющего рабочие и вспомогательные процессы без непосредственного участия человека.

Автоматизацию в машиностроении ни в коей степени не следует понимать лишь как процесс внедрения элементов и схем автоматики, насыщения ими существующих или вновь проектируемых конструкций машин.

Автоматизация — это комплексная конструкторско-технологическая задача создания принципиально новой техники на базе прогрессивных технологических процессов обработки, контроля, сборки. Она включает создание таких методов и схем обработки, конструкций и компоновок машин и систем машин, которые, как правило, были бы невозможны, если бы человек по-прежнему оставался непосредственным участником технологического процесса.

Широкое развитие автоматизации всех отраслей машиностроения выдвинуло перед машиностроительными вузами актуальнейшую задачу — подготовить не просто технологов, а технологов по разработке автоматизируемых технологических процессов; не просто конструкторов по технологическому оборудованию, а создателей новых машин, полуавтоматов и автоматов, автоматических линий и цехов.

Необходимый объем теоретических знаний и практических навыков определяется прежде всего характером решаемых задач автоматизации.

Любую продукцию, для получения которой известны методы и маршруты обработки, наиболее просто можно получить на универсальном неавтоматизированном оборудовании с ручным управлением при непосредственном участии человека. Автоматизация производственных процессов, связанная с неизбежными, иногда весьма значительными затратами сил, средств, времени, имеет цель — повышение производительности и качества выпускаемой продукции, сокращение количества обслуживающих рабочих по сравнению с неавтоматизированным производством.

За счет реализации этих факторов обеспечивается экономический эффект и окупаемость затрат на автоматизацию. При этом важнейшим определяющим фактором успешного внедрения является надежность

автоматизированного оборудования. Если показатели надежности оказываются низкими, сложнейшие и технически совершенные автоматические системы машин становятся менее производительными, чем неавтоматизированное оборудование; число же рабочих после автоматизации не сокращается, а возрастает. Поэтому важнейшим требованием к специалистам, работающим в области автоматизации машиностроения, является умение правильно оценивать целесообразную степень автоматизации в данных конкретных условиях, выбирать и рассчитывать оптимальные варианты построения машин и систем машин. Это не может быть правильно выполнено без наличия специальных знаний, которые, как правило, не даются в общих курсах по технологии и конструированию; поэтому во всех вузах созданы специальные курсы по автоматизации производственных процессов.

Наиболее просто изучение вопросов автоматизации можно производить путем ознакомления с имеющимися образцами автоматизированного оборудования, при соответствующей их типизации, классификации и т. д.; с типовыми методами и средствами автоматизации управления, загрузки и транспортировки, зажима и поворота изделий и т. д. И тогда инженер, обладающий общей хорошей конструкторской и технологической подготовкой, может работать в области автоматизации, воспроизводя известные ему прототипы, разумеется, на более высоком уровне. Такая ознакомительно-описательная методология изучения дисциплин по автоматизации, по-видимому, явилась закономерной для ранних этапов развития автоматизации, когда еще не сложились научные школы по этим вопросам, не был накоплен достаточный опыт проектирования и эксплуатации машин, не сформировались достаточно квалифицированные кадры инженеров и ученых, способных решать усложняющиеся задачи на высшем уровне.

Как известно, большая часть современных автоматов и полуавтоматов и подавляющее большинство автоматических линий относится к специальному оборудованию, для которого основные параметры (число рабочих и холостых позиций, участков, параллельных потоков обработки и т. д.) выбираются по критериям не кинематики и прочности, а производительности, надежности, экономической эффективности. Основными этапами создания автоматов и линий являются:

- а) разработки технологического процесса как основа дальнейшего проектирования;
- б) выбор оптимального варианта построения машин или системы машин, ее принципиальной схемы и компоновочного решения;
- в) выбор, расчет и проектирование системы управления;
- г) расчет и проектирование целевых механизмов рабочих и холостых ходов;
- д) уточнение ожидаемых технико-экономических показателей проектируемого оборудования: производительности, надежности в работе, экономической эффективности по сравнению с базовым вариантом.

Задачи, решаемые на каждом этапе, тем сложнее и многовариантнее, чем выше степень автоматизации машин, их конструктивная

и структурная сложность. Соответственно возрастает цена ошибок проектантов, убыточность неоптимальных решений, и именно эти вопросы должны быть поставлены во главу угла при преподавании.

В соответствии с вышеизложенным специалист по автоматизации должен обладать определенным объемом знаний и умений, необходимых для последовательного решения требуемых задач.

Технологические основы автоматизации. Не каждый технологический процесс, сложившийся в условиях совместной работы человека и машины, пригоден в качестве основы для создания автоматизированного оборудования. Поэтому необходимо на основе анализа специфики технологических процессов автоматизированного производства уметь правильно строить технологические процессы по критериям не только требуемого качества изделий, но и высокой производительности машин.

Основы проектирования автоматов и автоматических линий. На основе познания общности автоматов и линий различного технологического назначения, единых принципов автоматостроения, методов анализа и синтеза необходимо умение решать на высоком уровне задачи выбора принципиального варианта проектируемого оборудования, оптимального сочетания конструктивных, структурных, компоновочных параметров по критериям высокой производительности, надежности, экономической эффективности.

Системы управления. На основе сравнительного анализа всех возможных типов систем управления, их достоинств и недостатков, области применения необходимо уметь выбирать тип системы управления, формулировать требования к объему выполняемых функций, рассчитывать и выбирать параметры, проектировать специфические механизмы и устройства управления.

При разработке систем управления все вопросы синтеза системы управления с учетом многовариантности решения необходимо рассматривать не абстрактно, а с позиций достижения автоматом или линией наилучших технико-экономических показателей по качеству изделий, производительности, себестоимости продукции.

Целевые механизмы. На основе изучения, анализа и систематизации методов и средств автоматизации рабочих и вспомогательных операций, принципов их унификации и т. д. необходимо умение производить конструирование и расчет наиболее типовых механизмов и устройств (силовых головок, механизмов подачи материала, зажима, поворота, транспортирования, ориентации и др.). Основное внимание должно уделяться расчету и конструированию механизмов холостых ходов с позиций их быстродействия, надежности в работе, универсальности и переналаживаемости. И снова, как при разработке системы управления, вопросы выбора и обоснования должны решаться с позиций обеспечения высоких технико-экономических показателей автоматов и автоматических линий в целом — их производительности и экономической эффективности.

Комплексная автоматизация производственных процессов. Этот процесс является завершающим и обобщающим в автоматизации. Здесь проводится анализ путей и перспектив комплексной автоматизации.

зации производственных процессов, обоснование экономически оптимальной степени автоматизации; при этом основным объектом анализа и синтеза являются автоматические системы машин — автоматические линии, их технико-экономическая эффективность.

Специалист по автоматизации должен обладать знанием не только различных конструкций и технологических процессов, которых великое множество, но и общих закономерностей автоматостроения, методов анализа и синтеза автоматов и автоматических линий на основе научных положений теории производительности, надежности, экономической эффективности. При этом в учебных курсах по автоматизации любые технологические процессы и конструкции машин должны рассматриваться как взаимозаменяемые примеры, иллюстрирующие общие закономерности проектирования и эксплуатации автоматов и линий.

Теоретической основой автоматизации производственных процессов является теория производительности, которая позволяет рассматривать вопросы проектирования и эксплуатации машин в их диалектической взаимосвязи, формулировать основные законы автоматостроения, решать конкретные вопросы расчета и выбора технологических, конструктивных, структурных, эксплуатационных параметров с позиций высокой производительности, надежности и эффективности.

Специалисту по автоматизации необходимо знать:

1) материальную часть — типовые примеры конструкций и компоновок автоматов и автоматических линий, систем их управления и целевых механизмов;

2) особенности разработки технологических процессов автоматизированного производства;

3) теорию производительности рабочих машин;

4) теорию надежности и долговечности машин;

5) теорию автоматического регулирования как основу современных систем управления;

6) инженерные методы обоснования выбора оптимальных технологических и конструктивно-компоновочных решений при проектировании;

7) принципы построения многопозиционных автоматов и автоматических линий;

8) методы анализа работоспособности действующих автоматов и автоматических линий с точки зрения получения исходных данных для проектирования новых технологических процессов и машин.

Специалисту по автоматизации производственных процессов должен уметь:

1) разрабатывать технологические процессы как основу для проектирования машин-автоматов и автоматических линий с учетом специфических требований к изделиям, стабильности технологических параметров, дифференциации и концентрации операций и т. д.;

2) анализировать варианты технологических процессов с целью выбора оптимальных по критериям количества и качества; необходимого оборудования и т. д.;

3) сравнивать предлагаемые варианты технологических процессов

и оборудования по экономическим критериям с базовым, действующим производством;

4) выбирать оптимальную степень автоматизации проектируемого оборудования (станок с ручным управлением, полуавтомат; автомат, автоматическая линия, комплексная система и др.);

5) выбирать и рассчитывать принципиальную схему автомата или автоматической линии с оптимальным сочетанием таких показателей, как число позиций и потоков обработки, участков-секций, тип и емкость межоперационных накопителей; вид агрегатирования, компоновочное решение;

6) выбирать тип системы управления (упорами, копиями, распределительным валом, программное управление и др.), составлять техническое задание на разработку системы, оценивать качество вариантов;

7) разрабатывать конструкцию специфических механизмов и устройств управления и контроля;

8) разрабатывать конструкции механизмов и устройств для выполнения вспомогательных (холостых) операций — подачи заготовок и их ориентации, транспортировки, зажима, накопления заделов и др.;

9) оценивать количественно перспективность тех или иных направлений автоматизации, новейших конструктивных и компоновочных решений, систем управления.

Разумеется, изучение общинженерных и специальных дисциплин лишь закладывает основу профессиональной подготовки, которая углубляется конкретной специализацией в последующей практической деятельности, при сохранении общей эрудиции, основ знаний и умения.

Рассмотренные выше методологические принципы в течение длительного времени являются основой подготовки инженеров-технологов и конструкторов по автоматизации производственных процессов на факультете «Автоматизации и механизации производства» МВТУ им. Н. Э. Баумана и нашли отражение в изданных учебниках и учебных пособиях. Так, технологические основы автоматизации рассмотрены в учебнике «Технология машиностроения» [17].

Основы проектирования автоматов и автоматических линий, системы управления и целевые механизмы рассмотрены в учебном пособии «Автоматы и автоматические линии» [11], где три раздела книги соответствуют этим курсам. Настоящий учебник базируется на курсе «Автоматизация производственных процессов», который является завершающим в цикле специальных дисциплин по автоматизации.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС И ЕГО АВТОМАТИЗАЦИЯ

§ 1. ЭЛЕМЕНТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Под производственным процессом в современном машиностроении понимают такой комплекс мероприятий, при помощи которых осуществляется производство тех или иных машин, узлов, аппаратов и других изделий.

В ходе осуществления производственного процесса решают большой круг вопросов, связанных с различными видами производства, различными технологическими процессами, расчетами на вычислительных машинах, т. е. выполняют различные элементы производственного процесса.

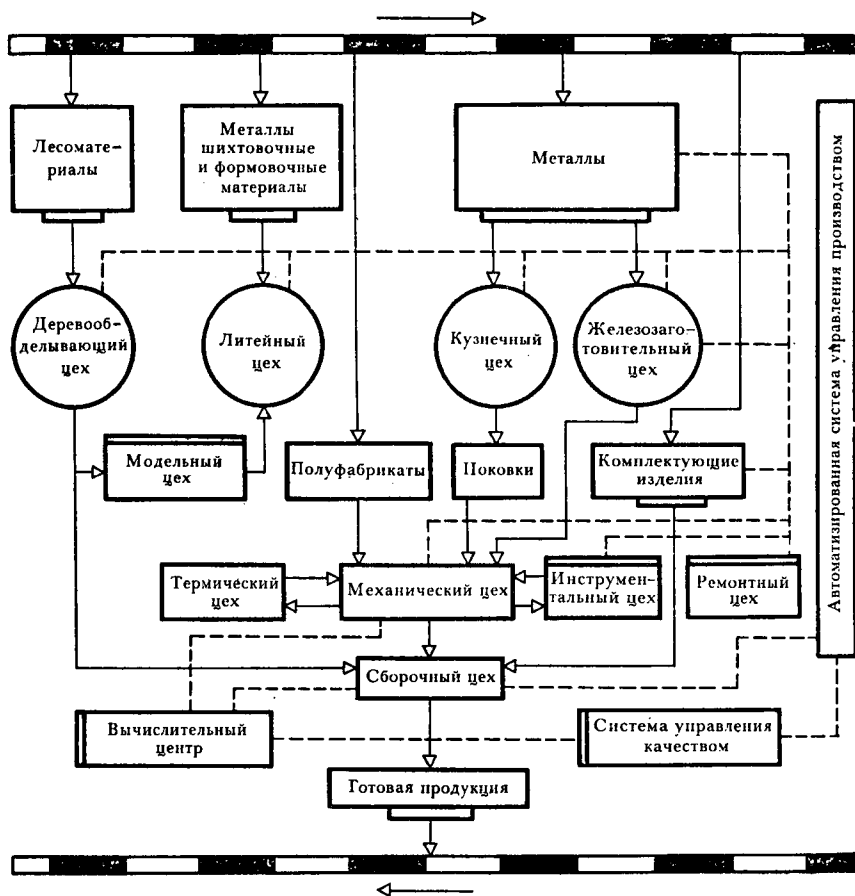
Машиностроительное предприятие представляет собой сложный комплекс, который обеспечивает бесперебойное функционирование всех элементов производственного процесса (рис. 1-1). Производственный процесс в машиностроении состоит из трех основных фаз: заготовительной, обработочной и сборочной.

Основной объем обработки выполняется в механических цехах, где заготовки, проходя механическую обработку, приобретают необходимую конфигурацию, точность и шероховатость. Процессы механической обработки, начиная от черновых, обдирочных операций и кончая чистовыми, окончательными, очень многообразны и могут выполняться последовательно на многих станках в поточных или автоматических линиях.

Между отдельными операциями механической обработки производится термообработка либо в специальных термических цехах, либо на участках термической обработки соответствующих механических цехов. В сборочных цехах готовые детали собирают в механизмы и узлы; они проходят контроль, общую сборку, окончательный контроль, испытания, упаковку, консервацию и т. д. Заготовки основных деталей производят в заготовительных цехах: литейном, кузнечном и др.

Комплекс литейного производства включает в себя и модельный цех.

Металл в кузнечно-штамповочные цехи поступает либо непосредственно с железнодорожных складов, либо из металлозаготовительного цеха, где происходит раскрой листов, разрезка или рубка пруткового материала на штучные заготовки и т. д.



Условные обозначения:

-  - Склады
-  - Обработывающие и сборочные цехи
-  - Заготовительные цехи
-  - Вспомогательные цехи
-  - Службы управления производством
-  - Основные грузопотоки

Рис. I-1. Структурная схема машиностроительного завода

Для поддержания нормального хода производственного процесса, кроме указанных основных цехов, существует целый ряд вспомогательных цехов: ремонтные, инструментальные и др. В ремонтных цехах производят обычно капитальный ремонт всего технологического оборудования, действующего на заводе, а также его модернизацию. Задачей инструментального цеха является бесперебойное снабжение всех обрабатывающих цехов инструментом, штампами, приспособлениями и т. д.

Как показывает схема (рис. 1-1), для нормального функционирования производственного процесса нужна развитая система транспортирования и хранения заготовок, полуфабрикатов и готовых изделий. Современное машиностроительное предприятие имеет развитую систему грузопотоков, связывающих между собой различные цехи и службы предприятия. Некоторые основные грузопотоки показаны на рис. 1-1. Различают системы транспорта межцехового — между отдельными цехами, внутрицехового — между участками и межстаночного — между отдельными станками в пределах одного технологического потока изготовления детали или узла.

Одной из характерных особенностей технологического процесса на современном этапе развития является широкое внедрение автоматизации во все элементы производственного процесса предприятия.

Автоматизация производственных процессов есть совокупность мероприятий по разработке технологических процессов, созданию и внедрению высокопроизводительных автоматически действующих средств производства, обеспечивающих непрерывный рост производительности труда.

До недавнего времени основным направлением автоматизации в машиностроении была автоматизация технологических процессов механической обработки: создание токарных, шлифовальных, фрезерных автоматов и полуавтоматов, агрегатных станков и автоматических линий из агрегатных станков и т. д. Такое направление в конечном итоге приводит к созданию автоматизированных участков и цехов, что позволяет резко сократить количество производственных рабочих, непосредственно занятых обслуживанием станков.

В последние годы широко развернуты работы по автоматизации процессов контроля и сборки, созданию контрольных и сборочных автоматов и автоматических линий для сборки. Автоматизация этих процессов позволяет в первую очередь повысить качество изготавливаемых изделий, особенно в отраслях производства с большими масштабами выпуска (подшипники, электровакуумные приборы, радиоэлементы, метизы и т. д.). Кроме того, автоматизация контроля и сборки позволяет устранить возникшую диспропорцию, когда на контроле и сборке готовых изделий занято больше рабочих, чем на их изготовлении.

Большие перспективы имеет внедрение автоматизации в заготовительных цехах: литейном, кузнечном и др., что позволяет не только сократить трудоемкость заготовительных процессов, но и значительно облегчить условия труда в горячих цехах. Это относится прежде всего к литейным цехам, где автоматизируются процессы формовки,

заливки металла, остывания, выбивки отливок и возврат опок к формовочным машинам. Решающая роль принадлежит автоматизации при внедрении прогрессивных заготовок с минимальными припусками на механическую обработку. Как правило, все технологические процессы получения прогрессивных заготовок методами профильного проката, холодной штамповки и т. д. имеют высокую степень механизации и автоматизации.

Автоматизация все больше проникает во вспомогательные цехи (инструментальный, ремонтный, модельный и др.), продукция которых является индивидуальной и серийной даже при массовом характере основного производства. Развитие гидрокопировальных станков, электроискровой обработки и станков с программным управлением позволило решить проблему автоматизированного изготовления штампов и других сложных изделий. Станки с программным управлением эффективны и в условиях серийного производства.

Автоматизация технологических процессов обработки и сборки позволяет значительно сократить количество рабочих в основных цехах. В результате основная масса производственных рабочих сосредотачивается не на основных процессах производства, а на вспомогательных и обслуживающих. Так, например, в 1961 г. на заводе ЗИЛ на погрузочно-разгрузочных, складских и транспортных работах было занято 31 % всех рабочих, на первом Государственном подшипниковом заводе (ГПЗ) — 34 %. Поэтому в последнее время автоматизация все больше выходит за рамки автоматизации технологических процессов обработки, охватывая все звенья производственного процесса, что позволяет решать задачи автоматизации в комплексе, повышать эффективность средств, вкладываемых в автоматизацию.

Высокоэффективными являются не только работы по механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ. В равной степени это относится и к межцеховой и внутрицеховой транспортировке изделий, накоплению и расходованию межоперационных заделов.

Для транспортировки изделий между цехами и участками все большее применение получают различного рода конвейеры, в том числе конвейеры с автоматическим адресованием, с программным управлением. Все более сложными и совершенными становятся транспортирующие системы автоматических линий, предусматривающие не только межстаночную транспортировку, но и хранение заделов в автоматических магазинах-накопителях.

Важнейшей задачей является автоматизация управления предприятием и прежде всего сбор и обработка текущей информации о состоянии всех звеньев производственного процесса, системы учета и оперативного планирования. Эта проблема решается при помощи электронных вычислительных машин, которые решают не только арифметические, но и логические задачи, рассчитывая оптимальные условия функционирования производственного процесса. Таким образом, в настоящее время существуют технические возможности автоматизации всех элементов производственного процесса. Поэтому особенно актуальной становится проблема правильного определения очередности работ по автоматизации, исходя из условий высокой их

эффективности. Практика показывает, что чем ниже техническая оснащенность данного звена производственного процесса, тем больше резервы сокращения живого труда, тем эффективнее автоматизация.

Если ввести понятие коэффициента технической вооруженности K , показывающего, сколько техники приходится на каждого рабочего (отношение ее стоимости к годовому фонду зарплаты), то такой показатель будет иметь самые различные значения по различным звеньям производственного процесса. Так, например, на автоматических линиях величина K находится в пределах $K = 15 \div 25$, на поточных линиях обработки $K = 1 \div 3$, а на погрузочно-разгрузочных и складских работах $K = 0,01 \div 0,1$. Отсюда различный уровень эффективности работ по автоматизации.

Так, например, автоматическая линия средней сложности, внедряемая взамен поточной линии, стоит 150—200 тыс. руб. и окупается в лучшем случае через два-три года, высвобождая 20—30 рабочих. Такое же количество рабочих можно высвободить, применив на погрузочно-разгрузочных работах два-три автопогрузчика, стоимость которых в 30—40 раз ниже, чем автоматической линии.

Успехи автоматизации в различных стадиях и звеньях производственного процесса создают условия для комплексной автоматизации производственных процессов.

Под *комплексной автоматизацией* следует понимать такую автоматизацию, которая охватывает весь комплекс производства изделия, например автомобиля, когда все стадии его производства, начиная с исходных материалов и полуфабрикатов и кончая сборкой, автоматизированы. Такое направление автоматизации позволяет обеспечить высокие темпы технического прогресса, избежать отвлечения сил и средств на осуществление отдельных процессов автоматизации, которые, решая частную задачу производства одной или нескольких деталей машины, не в состоянии сколько-нибудь поднять общий уровень производства в целом.

§ 2. ОСНОВНЫЕ СТУПЕНИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Важнейшими показателями, характеризующими вид производства, являются количество и номенклатура выпускаемых изделий. Характер производства предъявляет определенные требования к технологическому оборудованию. Если в условиях массового производства со стабильным характером выпускаемой продукции главным требованием к рабочим машинам является высокая производительность, то для условий серийного и единичного производства первостепенное значение приобретают универсальность и мобильность средств производства при обеспечении во всех случаях требуемого качества продукции. Под универсальностью понимается способность оборудования к переналадке на возможно широкий диапазон обрабатываемых изделий. Мобильность определяется быстротой перехода с выпуска одних изделий на другие.

Автоматизация процессов производства, создание и широкое внед-

рение машин-автоматов, станков с программным управлением, автоматических линий, цехов и заводов во все отрасли промышленности является основной тенденцией социалистического производства. В СССР изготавливаются и эксплуатируются автоматы и автоматические линии самого различного технологического назначения и их удельный вес в промышленности увеличивается с каждым годом.

Анализируя историю и тенденции развития автоматизации производственных процессов, можно отметить три основных этапа, на которых решались различные по своей сложности задачи: 1) автоматизация рабочего цикла, создание машин-автоматов и полуавтоматов; 2) автоматизация системы машин, создание автоматических линий; 3) комплексная автоматизация производственных процессов, создание автоматических цехов и заводов.

Первой ступенью автоматизации является автоматизация рабочего цикла, создание автоматов и полуавтоматов — автоматизация технологических процессов. Появление автоматов явилось неизбежным следствием развития и совершенствования конструкции рабочих машин. Любая рабочая машина состоит из трех основных механизмов: двигательного, передаточного и исполнительного. Основным является исполнительный механизм, определяющий технологические возможности машины, производительность и качество обработки. Наблюдая за работой машины, легко заметить, что кроме основных рабочих движений исполнительного механизма, производящих обработку, контроль и сборку, имеются движения, непосредственно не связанные с обработкой (подвод и отвод, зажим и разжим, включение и выключение, поворот револьверной головки и т. д.).

С точки зрения выполнения технологического процесса все перемещения рабочих органов машины можно разделить на рабочие и холостые. Во время рабочих перемещений производится непосредственно обработка материалов или сборка узлов. В процессе холостых ходов осуществляются вспомогательные движения, которые служат для подготовки рабочих ходов (загрузка и зажим заготовки, подвод и отвод инструмента, переключение направления вращения шпинделя и т. д.).

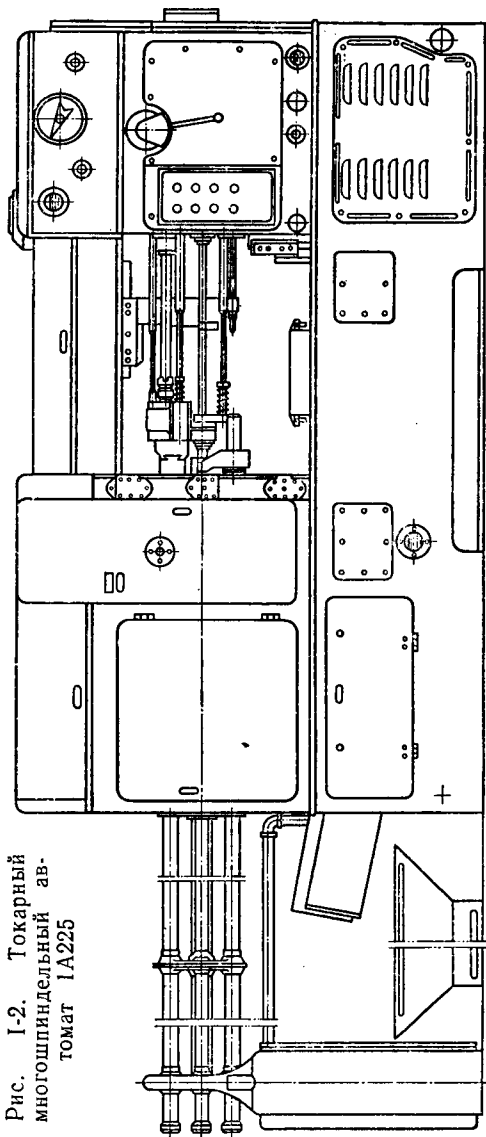
Обработка одной заготовки требует обычно полного комплекса рабочих и холостых ходов, время выполнения которых определяет время рабочего цикла машины:

$$T = t_p + t_x,$$

где t_p — время рабочих ходов; t_x — время холостых ходов. Отдельные рабочие и холостые ходы могут совмещаться между собой.

Любая рабочая машина самостоятельно выполняет рабочие ходы. Если машина кроме рабочих ходов самостоятельно выполняет и холостые, то она представляет собой автоматическую машину или автомат. Автоматом называется самоуправляющаяся рабочая машина, которая при осуществлении технологического процесса производит все рабочие и все холостые ходы цикла обработки, кроме наладки и регулирования. Таким образом, необходимым и достаточным условием для работы автомата является наличие механизмов рабочих и хо-

Рис. 1-2. Токарный
многошпиндельный ав-
томат 1А225



лостых ходов и системы управления, которая осуществляет запрограммированную последовательность всех элементов рабочего цикла.

На рис. 1-2 показан токарный многошпиндельный автомат 1А225. На этом автомате обрабатываются детали из пруткового материала, требующие таких операций, как обтачивание, сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы.

На рис. 1-3 приведена схема классификации механизмов автомата. Как показано на схеме, исполнительный механизм рабочих и холостых ходов распадается на ряд механизмов, каждый из которых выполняет определенный элемент рабочего цикла — операцию. Количество и назначение целевых механизмов определяются технологическим назначением и схемой работы автомата. Токарный многошпиндельный автомат, например, имеет продольный суппорт, производящий продольную обработку на всех позициях, и несколько поперечных суппортов, каждый из которых обслуживает одну или две позиции. Кроме того, автомат имеет обычно целый ряд дополнительных приспособлений (резьбонарезное, быстросверлильное и др.).

Механизмы холостых ходов выполняют операции, связанные с перемещением

и закреплением заготовок. К ним относятся прежде всего подача прутка и его зажим; шпиндельный блок периодически поворачивается специальным механизмом. Точность положения шпиндельного блока во время обработки обеспечивается механизмом фиксации. Для уменьшения износа опор шпиндельного блока и сохране-

ния его долговечности перед поворотом шпиндельный блок приподнимается над опорами. Эту операцию выполняет механизм подъема шпиндельного блока.

Управление рабочим циклом работы всех механизмов построено на механической основе. Главным органом управления является распределительный вал, на котором находятся кулачки, управляющие отдельными механизмами.

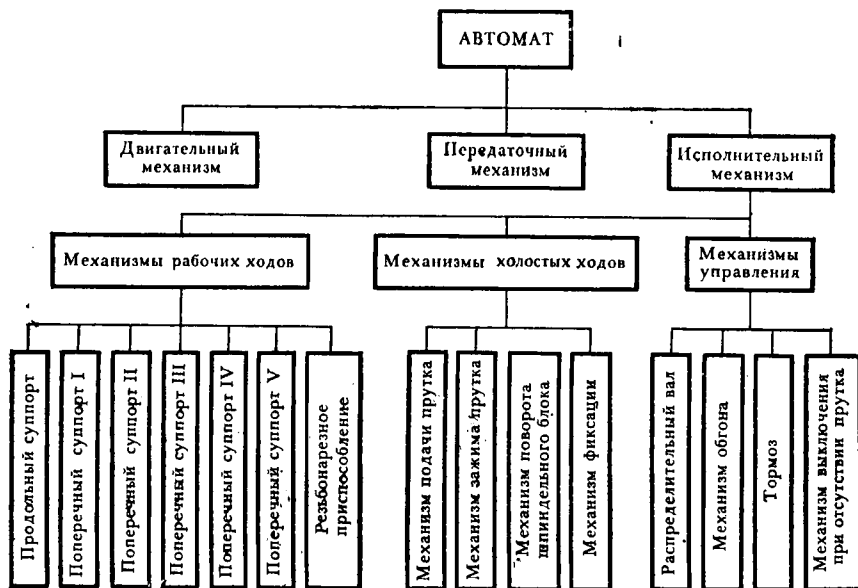


Рис. I-3. Классификация механизмов автомата

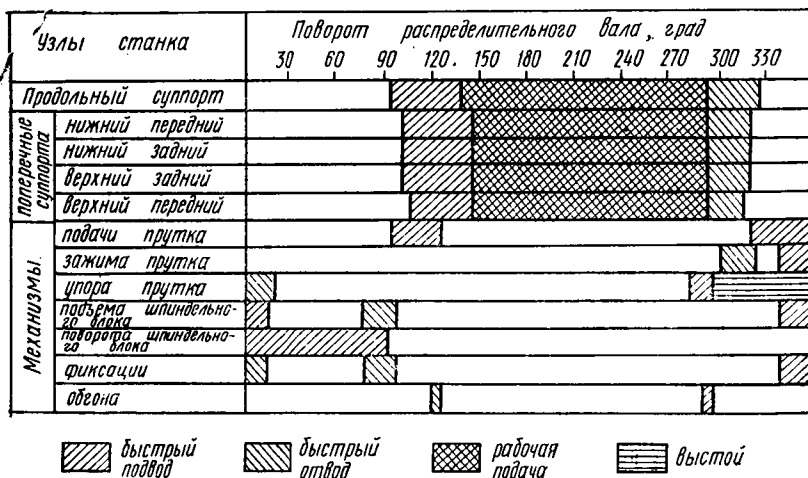


Рис. I-4. Циклограмма автомата модели 1A225

Для графического изображения рабочего цикла автоматов и автоматических линий широко применяются циклограммы. На рис. 1-4 приведена циклограмма автомата модели 1А225, которая дает графическое изображение рабочего цикла, отражая все перемещения, производимые целевыми механизмами в зависимости от угла поворота распределительного вала.

Если отсутствует один из основных механизмов для осуществления холостых ходов, автоматический цикл прерывается и для его повторения требуется обязательное вмешательство рабочего. Наиболее

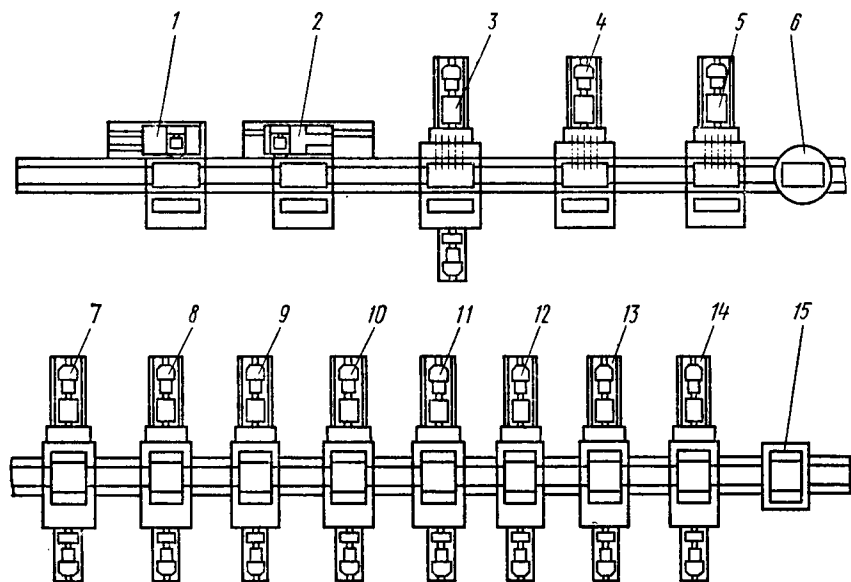


Рис. 1-5. Планировка автоматической линии для обработки корпусных деталей (модель 1Л165):

1, 2 — станки для черного и чистового фрезерования плоскости; 3—5 — станки для обработки крепежного отверстия; 6 — поворотный стол; 7—14 — двусторонние станки для обработки отверстий; 15 — контрольное устройство для контроля обработанной детали

часто таким отсутствующим механизмом является механизм питания, что связано с большими трудностями в создании надежных механизмов загрузки заготовок сложной формы. В таких случаях рабочая машина, выполнив весь рабочий цикл, автоматически выключается, и все механизмы отводятся в исходное положение. Рабочий снимает обработанную деталь, устанавливает новую заготовку и включает станок, после чего весь цикл работы повторяется. Такая машина, работающая с автоматическим рабочим циклом, для повторения которого требуется вмешательство рабочего, называется полуавтоматом.

На первой ступени автоматизации технологических процессов охватывает лишь отдельные операции обработки, а сборку,

контроль и упаковку готовой продукции производят вручную или с применением средств механизации.

Второй ступенью автоматизации является автоматизация системы машин, создание автоматических линий, объединяющих в себе выполнение разнообразных операций обработки, контроля, сборки, упаковки и т. д. — автоматизация производственных процессов. Автоматической линией называется автоматическая система машин, расположенных в технологической последовательности, объединенных средствами транспортировки, управления, автоматически выполняющих комплекс операций, кроме наладки.

На рис. I-5 показана схема автоматической линии для обработки корпусных деталей. В процессе работы обрабатываемая деталь не снимается с транспортера, а последовательно проходит через все позиции обработки, начиная с загрузочной. В каждой рабочей позиции детали фиксируются и зажимаются в стационарных приспособлениях.

На рис. I-6 показана структурная схема типовой автоматической линии. Автоматическая

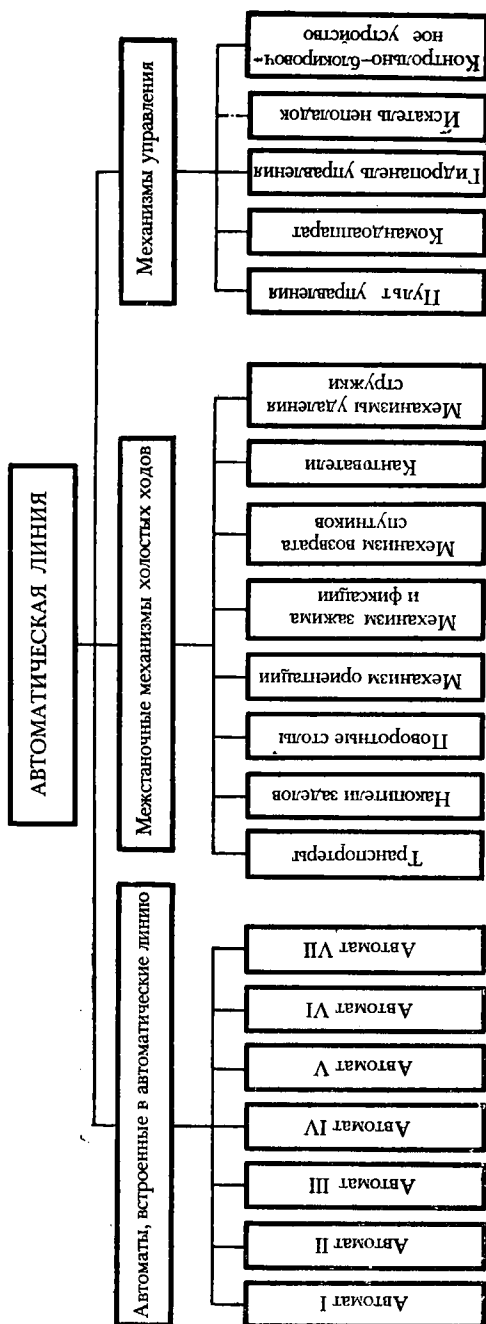


Рис. I-6. Структурная схема типовой автоматической линии

линия представляет собой более высокую ступень развития исполнительного механизма. Отдельные автоматы, встроенные в линию, являются элементами, выполняющими рабочие ходы (операции обработки, контроля, сборки), т. е. они выполняют в линии те же функции, что и механизмы рабочих ходов в отдельном автомате. Холостые ходы в линии выполняются механизмами межстаночной транспортировки, накопления заделов и т. д., которые на первой ступени автоматизации выполняются вручную.

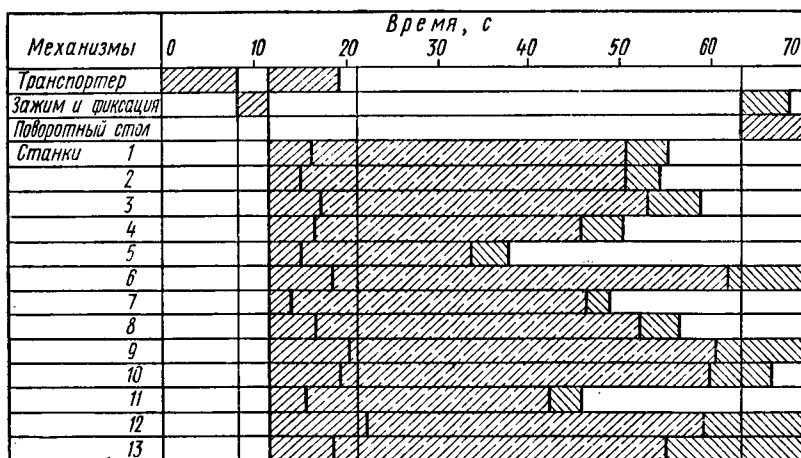


Рис. 1-7. Циклограмма автоматической линии

Циклограмма автоматической линии (рис. 1-7) показывает, что она подобна циклограмме отдельного автомата. Рабочий цикл начинается с хода транспортера вперед с перемещением всех деталей на один шаг. Окончание хода транспортера дает сигнал на включение механизмов зажима и фиксации на рабочих позициях.

Все механизмы на позициях работают независимо и только подают сигналы об окончании зажима. После получения последнего сигнала дается общая команда на пуск всех агрегатных головок. Каждая головка имеет автономную систему управления, которая переключает ее с быстрого подвода на рабочую подачу, а затем и на быстрый отвод. В исходном положении головка самовыключается и подает сигнал об окончании своего цикла. Как только будет подан сигнал об окончании обработки на позиции с самым длительным циклом, вновь включаются механизмы зажима и фиксации, которые освобождают обрабатываемые детали в приспособлениях. С обработкой синхронизируется и работа других механизмов (поворотные столы, механизмы для удаления стружки из отверстий и т. д.).

Следует отметить, что резкой разницы между многопозиционными агрегатными станками и автоматическими линиями не существует. Так, если станок имеет линейную компоновку, а перемещение деталей

из позиции в позицию производится не поворотным столом, а прямолинейно-шаговым транспортером, такую компоновку называют автоматической линией.

Опыт, накопленный при автоматизации рабочего цикла отдельных машин, позволяет перейти к решению новых, более сложных задач. Первая из этих задач — создание автоматической системы межстаночной транспортировки обрабатываемых деталей. При этом задача усложняется тем, что необходимо не просто автоматически передавать детали от одной рабочей машины к другой, но и учитывать неодинаковый ритм работы, а также несовпадение по времени простоев различных машин из-за возникающих неполадок.

Следовательно, система межстаночной транспортировки включает в себя не только транспортеры, но и автоматические магазины-накопители для создания и расходования межоперационных заделов и других устройств. Важной проблемой на второй ступени автоматизации является создание систем управления системой машин. При этом необходимо не только согласование между собой рабочих циклов отдельных машин, а также транспортирующих механизмов, но и блокировка на случай всевозможных неполадок (поломки, выход размеров за пределы поля допуска, контроль правильности выполнения команд, отыскание неполадок и т. д.). Системы управления рабочим циклом машины, которые строятся на базе распределительного вала с кулачками, здесь непригодны прежде всего из-за плохой дистанционности. Это вызывает появление новых систем управления, основанных на применении гидравлических, электрических и электронных устройств.

На второй ступени автоматизации решается и задача создания средств автоматического контроля, в том числе активного контроля, с корректировкой работы станка, самоорганизацией и самонастройкой, т. е. с применением средств самоприспосабливающегося управления, систем управления качеством и т. д.

Высшей формой автоматизации на второй ступени являются комплексные поточные линии из полуавтоматов и автоматов.

Третьей ступенью автоматизации является комплексная автоматизация производственных процессов — создание автоматических участков, цехов и заводов с широким использованием электронных вычислительных машин, автоматических систем управления производством, систем управления качеством и т. д.

Комплексная автоматизация связана с высокой технической оснащенностью всех звеньев производственного процесса, с максимальным сокращением длительности производственного цикла, с внедрением автоматических систем управления производством.

Автоматическим цехом или заводом называется цех или завод, в котором основные производственные процессы осуществляются на автоматических линиях. Здесь решаются задачи автоматизации межлинейной и межцеховой транспортировки, складирования, уборки и переработки стружки, управление качеством, диспетчерского контроля и автоматической системы управления производством.

На рис. 1-8 представлена структурная схема автоматического цеха,

оснащенного роторными линиями. Здесь элементами, выполняющими рабочие ходы, являются уже автоматические линии с технологическими роторными машинами, механизмами транспортировки, управления и т. д. В автоматических цехах и заводах межлинейное транспортирование и накопление заделов являются холостыми ходами; система управления цехом также выполняет новые, более сложные задачи.

Изменение масштабов автоматизации требует и иных методов ее решения. Так, если для межстаночной транспортировки применяются

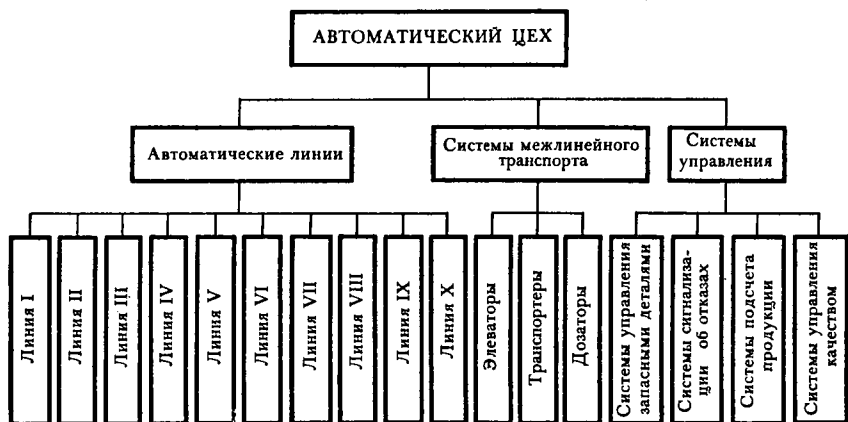


Рис. 1-8. Структурная схема автоматического цеха

разнообразные транспортеры, то межцеховая транспортировка требует системы конвейеров с автоматическим адресованием.

Следовательно, современный автоматизированный завод представляет собой сложный многозвенный объект управления, все элементы которого находятся в постоянном динамическом взаимодействии друг с другом. Установление оптимальных взаимоотношений между элементами объекта управления для достижения наилучших экономических показателей работы автоматизированного предприятия (в частности, минимизация себестоимости выпускаемой продукции) определяет функции автоматических систем.

Подобные системы решают значительно более сложные задачи, чем обычные межстаночные транспортные и управляющие системы. Соответствующим образом усложняются системы отвода стружки, которые должны обслуживать уже не отдельные станки и линии, а целые цехи. Качественно отличаются и автоматические линии. Если на второй ступени автоматизации автоматические линии охватывают в основном только процессы механической обработки, то комплексные автоматические системы охватывают все звенья производственного процесса, начиная с заготовительных операций, кончая сборкой, испытанием готовой продукции, упаковкой и отгрузкой.

Комплексная автоматизация производственных процессов, как новая ступень технического прогресса, строится на широком применении вычислительной техники, в первую очередь ЭВМ, которые

позволяют решать не только задачи управления производством, но и гибкого управления технологическими процессами и всем технологическим комплексом оборудования, на котором выполняются эти процессы.

§ 3. ТИПЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

В машиностроительной промышленности наиболее характерным является парк металлорежущих станков, от степени совершенствования которых зависит уровень всего машиностроения. Поэтому исторические тенденции автоматизации металлорежущего оборудования наиболее полно характеризуют развитие автоматизации машиностроения в целом.

Рассмотрим основные группы автоматических станков по степени автоматизации с точки зрения их характерных особенностей и целесообразности применения. При этом будем руководствоваться следующими критериями сравнительной оценки различных групп оборудования: производительность, надежность в работе, стоимость (цена оборудования), мобильность, количество обслуживающих рабочих.

Развитие автоматизации неизбежно вызывает улучшение одних показателей — прежде всего повышение производительности и сокращение количества обслуживающих рабочих и ухудшение других — снижение универсальности и мобильности, повышение стоимости.

Высокая универсальность и мобильность станков с ручным управлением обусловили их применение в единичном и мелкосерийном производстве, где основной недостаток — низкая производительность — не играет решающей роли. Однако в настоящее время универсальные станки с ручным управлением вынуждены широко использовать и в массовом быстросменном производстве (например, приборостроении, авиастроении и т. д.), так как высокопроизводительное, но дорогое специальное оборудование не может окупиться из-за малых сроков службы.

Увеличение масштабов производства, потребность в изготовлении определенного количества одних и тех же изделий, например деталей автомобиля, обусловили появление второй группы станков — универсальных автоматов и полуавтоматов, особенностью которых являются высокая цикловая производительность и степень автоматизации. Например, современный многошпиндельный токарный автомат может заменить по производительности до 20 универсальных токарных станков путем максимального совмещения всех холостых и рабочих операций, большого количества одновременно работающих инструментов, высоких скоростей всех холостых ходов. Хотя автоматы и полуавтоматы этой группы и называются универсальными, их универсальность значительно меньше, чем у станков с ручным управлением.

Появление механизмов холостых ходов и систем автоматического управления привело к значительному ухудшению мобильности станочного оборудования. Если на станке с ручным управлением переход к обработке иной детали занимает несколько минут, то на уни-

версальном автомате такая переналадка требует нескольких часов простоя станка, поэтому фактическая производительность при мелко-серийном производстве оказывается низкой. Дальнейшее увеличение масштабов производства привело к тому, что во многих случаях отпала необходимость в переналадке оборудования, и на автоматах за все время эксплуатации обрабатывают одну и ту же деталь, выполняют одни и те же операции. В таких условиях применение универсальных автоматов и полуавтоматов становится уже нерациональным.

Стремление максимально повысить производительность при больших масштабах производства приводит к появлению третьей группы станков — специализированных и специальных автоматов и полуавтоматов. Эти станки могут применяться только в условиях массового производства при изготовлении таких деталей, формы и размеры которых длительное время остаются неизменными.

При смене выпускаемого изделия большинство специализированных и специальных станков оказываются ненужными, несмотря на фактическую их пригодность. Таким образом, развитие современной техники создает противоречие между массовостью производства и мобильностью средств производства.

Одним из путей решения этой проблемы является стандартизация и нормализация механизмов и узлов станков на основе общности их технологического назначения. Таким образом, появляется четвертая группа — агрегатные станки, отличительной особенностью которых является компоновка из унифицированных узлов и механизмов. Станкостроительные заводы, поставщики и потребители унифицированных узлов обладают высокой мобильностью, так как они могут путем комбинирования унифицированных узлов быстро создавать высокопроизводительные автоматизированные станки самого различного технологического назначения. Агрегатные станки предназначаются обычно для выполнения сверлильных, расточных операций, нарезания резьбы в отверстиях, фрезерования плоскостей, пазов, выступов, режы — обтачивания (наружного и торцового). Как правило, обрабатываются корпусные детали, которые в процессе обработки остаются неподвижными.

Большинство узлов агрегатных станков сохраняет свое назначение и может применяться и при обработке других изделий. К ним относятся силовые головки, которые объединяют механизмы главного движения и подачи. Все головки нормализованы и различаются по типу механизмов подачи (гидравлические, электромеханические, механические, пневмогидравлические и т. д.). Кроме силовых головок, в агрегатных станках нормализуются направляющие головок, поворотные столы со всеми приводными механизмами, стойки, станины, аппаратура управления и т. д. Нормализованные детали в станке составляют 70—80%. Ненормализованными остаются те узлы и механизмы, которые зависят от индивидуальных особенностей обрабатываемой детали: шпиндельные головки, зажимные приспособления.

Применение унифицированных узлов и механизмов позволяет создавать самые разнообразные компоновки агрегатных станков и авто-

матических линий с малым количеством оригинальных элементов.

Обычно для полной обработки корпусных деталей необходим не один, а несколько агрегатных станков, иногда до нескольких десятков. На рис. 1-9 приведена планировка типовой поточной линии для обработки корпусных деталей, состоящей из однопозиционных и многопозиционных агрегатных станков и специальных станков, между которыми находятся промежуточные рольганги. На линии обрабатывают базовые плоскости (фрезерование и шлифование), базовые отверстия (сверление, зенкерование, развертывание), торцы блока и т. д. Загрузка и съем деталей выполняются вручную; рольганги используются и как накопители заделов.

Указанные четыре группы металлорежущих станков характеризуют собой первую ступень автоматизации — автоматизацию рабочего цикла. Исторически это соответствует уровню развития машиностроения к началу сороковых годов. Развитие техники в последующий период приводит к появлению еще нескольких групп оборудования: автоматических линий из агрегатных станков, автоматических линий из станков с программным управлением, участков автоматической линии с управлением от единой ЭВМ, автоматических линий из многооперационных станков и более сложных комбинированных автоматических линий с управлением от ЭВМ и малых вычислительных машин.

Пятая группа — автоматические линии из агрегатных станков — получила широкое применение в массовом и крупносерийном производстве благодаря большому экономическому эффекту. Так как линии собираются из имеющихся агрегатных узлов, значительно сокращается время на проектирование и монтаж линии. На рис. 1-10 приведена схема автоматической линии из агрегатных станков. Залогом надежности работы такой автоматической линии является то, что многие ее механизмы уже опробованы и отлажены на ранее построенных линиях.

Как видно из схемы, обрабатываемые заготовки в процессе обработки не снимаются с транспортера, а последовательно проходят через все позиции обработки, начиная от загрузочной. В каждой рабочей позиции обрабатываемые детали фиксируются и зажимаются в стационарных приспособлениях.

На рис. 1-11 приведена циклограмма работы автоматической линии из агрегатных станков. Рабочий цикл $T_{\text{ц}}$ начинается с хода транспортера вперед с перемещением всех обрабатываемых деталей на шаг.

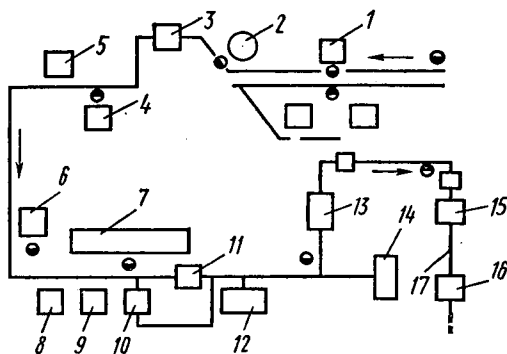


Рис. 1-9. Планировка типовой поточной линии для обработки корпусных деталей:
1-16 — агрегатные станки; 17 — рольганг

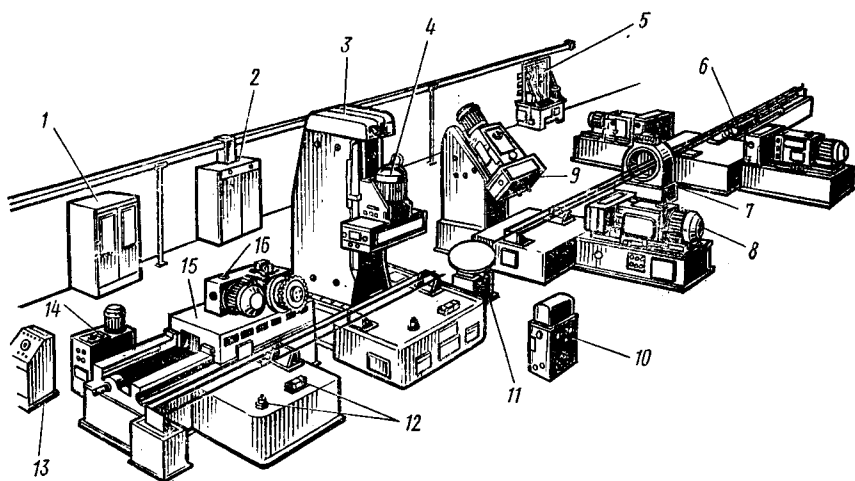


Рис. I-10. Общий вид автоматической линии из агрегатных станков:

1 — шкаф; 2 — электрошкаф; 3 — агрегатный станок; 4 — электродвигатель; 5 — гидро-
станция; 6 — установочное приспособление; 7 — устройство поворота; 8 — электродвига-
тель; 9 — шпиндельная головка; 10 — пульт управления; 11 — поворотный стол; 12 — уст-
ройство управления; 13 — пульт управления; 14 — насосная установка; 15 — силовой стол;
16 — фрезерная головка

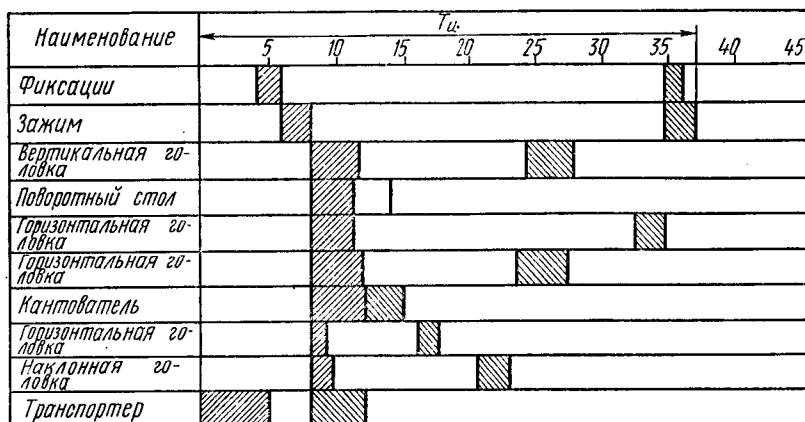


Рис. I-11. Циклограмма работы автоматической линии

Окончание хода транспортера дает сигнал на выключение механизмов зажима и фиксации на рабочих позициях.

Автоматические линии из агрегатных станков основаны на дальнейшем развитии принципов унификации узлов и механизмов. В таких линиях унифицированы шаговые транспортеры, транспортеры уборки стружки, поворотные столы для поворота детали вокруг вертикальной оси, кантователи для поворота вокруг горизонтальной

оси, пульты управления, а также нормализованные насосные станции. Таким образом, несмотря на возрастание конструктивной сложности и разнообразие компоновочных схем количество оригинальных элементов остается минимальным.

Дальнейшее развитие и совершенствование агрегатных станков и автоматических линий из агрегатных станков идет по линии создания так называемых обратимых конструкций. Если прежде оборудование автоматических линий из агрегатных станков после окончания срока выпуска изделий шло в металлолом, то в линиях обратимой конструкции после демонтажа нормализованные элементы пригодны для компоновки линий другого технологического назначения, что позволяет применять их в условиях серийного производства.

Проблема создания обратимых конструкций является особо актуальной в связи с мобильностью производства при бурном развитии техники.

Первые автоматические линии из агрегатных станков создавались только для корпусных деталей с хорошей устойчивостью, что позволило перемещать их транспортерами от одного стационарного приспособления к другому. В последнее время большое применение получили линии для обработки малоустойчивых деталей, которые невозможно транспортировать отдельно. В таких случаях обрабатываемые детали на загрузочной позиции закрепляются на приспособлениях-спутниках и вместе с ними перемещаются из позиции в позицию. На каждой рабочей позиции спутник фиксируется и зажимается. Приспособление-спутник предназначено для того, чтобы базировать, закреплять деталь и перемещать ее из позиции в позицию.

Использование приспособлений-спутников резко расширяет область применения автоматических линий. Однако вместе с этим появляются и трудности. Во-первых, спутники увеличивают стоимость автоматической линии, так как для каждой линии их должно быть столько же, сколько деталей одновременно обрабатывают на линии.

Во-вторых, они должны быть точно изготовлены, так как от точности расположения детали в спутнике зависит точность обработки.

В-третьих, при обработке деталей в спутниках возникает необходимость в специальных транспортерах для возврата спутников в исходное положение.

Возврат спутников может осуществляться несколькими способами. Способы возврата спутников в значительной мере определяют схему и конструктивную сложность автоматических линий.

На рис. 1-12 показана схема автоматической линии с приспособлениями-спутниками. Эта линия имеет специальный транспортер 3, расположенный над станками, и два перегружателя 2 и 4. Перегружатель 4 расположен в конце линии. После окончания обработки детали этот перегружатель поднимает деталь вместе со спутниками и выталкивает их на рольганг. По рольгангу спутник с деталью подается в начало линии, где перегружателем 2 перемещается в позицию загрузки 1. В этой позиции обработанная деталь снимается со спутника и на ее место устанавливается заготовка, которая после этого подается для обработки на первую рабочую позицию линии.

Недостатком такой схемы возврата спутников является то, что эта схема применима только в тех случаях, когда на линии нет вертикальных и наклонных агрегатных головок.

Наряду с автоматическими линиями из агрегатных станков широко применяются автоматические линии, созданные из универсальных станков - автоматов и полуавтоматов — шестая группа. Они создаются на базе

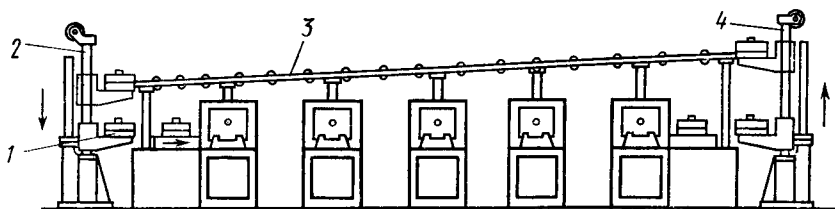


Рис. 1-12. Схема автоматической линии с приспособлениями-спутниками

поточных линий путем оснащения их механизмами автоматической загрузки и выгрузки деталей — автооператорами, механизмами межстаночной транспортировки — транспортерами, подъемниками, накопителями и т. д.

Наиболее просто решается задача создания таких линий, если конструкция станков позволяет использовать их как индивидуально, так и для компоновки автоматических линий. В этих случаях автоматические линии могут создаваться в короткие сроки и с минимальными затратами, а высокая работоспособность линии гарантируется тем, что станки уже проверены в индивидуальной эксплуатации. Если конструкция станка не предусматривает встраивания его в автоматическую линию, станки приходится модернизировать, что увеличивает объем работ, однако затраты при этом намного ниже, чем при проектировании всей линии заново.

Таким образом, в автоматических линиях из универсальных автоматов и полуавтоматов технологические процессы и основные механизмы станков остаются неизменными, следовательно, и производительность сохраняется приблизительно на том же уровне, как и на поточных линиях.

Автоматические линии из универсальных автоматов и полуавтоматов применяются преимущественно для обработки деталей типа тел вращения.

На рис. 1-13 показана автоматическая линия, предназначенная для обработки ступенчатых валов диаметром до 220 мм. Она состоит из нескольких токарных гидрокопировальных полуавтоматов, снабженных автооператорами и объединенных в линию при помощи транспортера, который выполняет и роль магазинов-накопителей. Сначала предварительно обрабатывается заготовка по первым ступеням и затем она передается на последующие станки, где производится как предварительная, так и окончательная обработка. В процессе обработки заготовка может поворачиваться для обработки ступеней с другой сто-

роны детали. При завершении токарной обработки деталь подается на автоматическую измерительную станцию, где контролируется точность обработки вала.

Автоматические линии из универсального оборудования широкое применение получили в подшипниковой промышленности. Такие линии, созданные специально для обработки подшипниковых колец определенных типов, позволяют получить высокую производительность.

Одним из первых такие линии стал внедрять завод ИГПЗ, где еще в начале 50-х годов были введены в эксплуатацию групповые автоматические линии из универсального типового оборудования для токарной обработки и внутреннего шлифования.

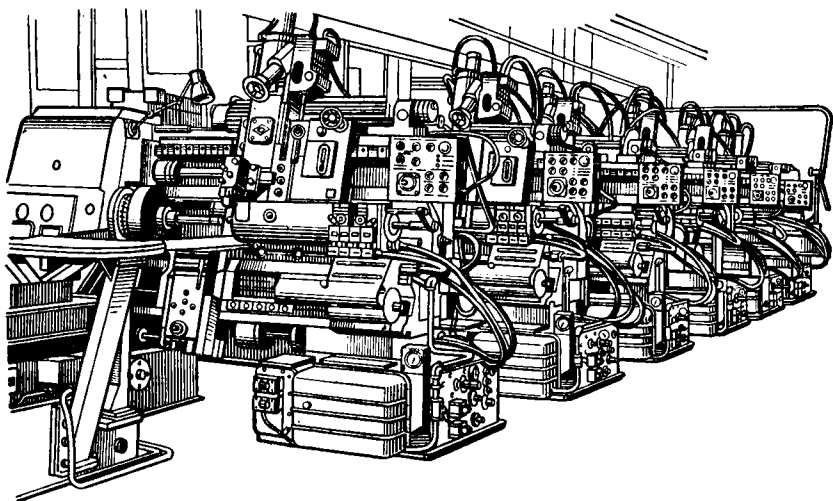


Рис. I-13. Автоматическая линия для обработки ступенчатых валов

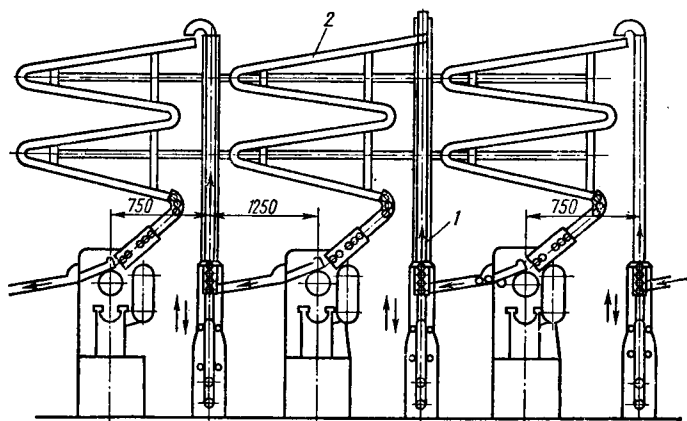


Рис. I-14. Общий вид автоматической линии из универсального оборудования

На рис. I-14 приведен общий вид автоматической линии из универсального оборудования для обработки тел вращения типа подшипниковых колец. Линия состоит из трех одношпиндельных автоматов, оснащенных автооператорами для загрузки и снятия обрабатываемых изделий. Межстаночная транспортировка производится при помощи подъемников 1 и лотков 2, которые используются как для подачи изделий, так и для их накопления.

В ряде случаев транспортные системы автоматических линий из универсальных автоматов и полуавтоматов предусматривают прину-

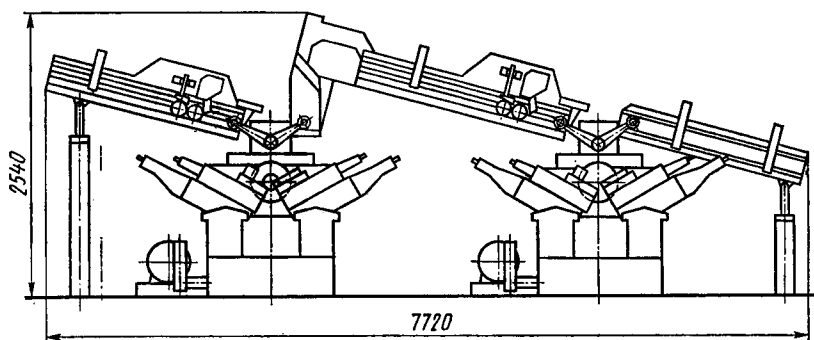


Рис. I-15. Автоматическая линия из двух станков

дительное перемещение заготовок между станками. Это применяется в тех случаях, когда перемещение заготовок собственным весом может привести к потере ориентации, застреванию и т. д., а также, когда поток заготовок необходимо принудительно распределять между различными станками в так называемых групповых автоматических линиях. Такая система применена, например, в автоматических линиях для шлифовки колец конических подшипников, где общий транспортер имеет шаговое перемещение, а подача изделия к станкам и обратно происходит по лоткам. Эта конструкция позволяет обеспечивать при помощи одноручьевого общего транспортера подачу колец различных типов к десяти шлифовальным автоматам.

Автоматические линии из универсальных автоматов и полуавтоматов применяются также для обработки деталей типа зубчатых колес. В качестве примера на рис. I-15 показана линия, предназначенная для обработки цилиндрических зубчатых колес диаметром до 360 мм. Она состоит из двух станков, снабженных автооператором и объединенных в линию при помощи лотков, которые выполняют и роль магазинов-накопителей. Сначала предварительно растачивается первая внутренняя поверхность инструментами правого суппорта. Когда с этого суппорта начинается обработка торца, в работу вступают резцы левого суппорта; при этом производится чистовое растачивание, а также подрезка торцов и снятие фасок. При переходе на второй станок заготовка переориентируется для обработ-

ки с другой стороны. Здесь обрабатывается наружная поверхность и торцы, а после изменения частоты вращения шпинделя производится чистовая обработка отверстия и фасок одновременно с обоих суппортов. При завершении токарной обработки автооператор подает деталь на автоматическую измерительную станцию, где контролируется точность отверстия.

Для обработки деталей стабильной конструкции в условиях массового производства получили применение автоматические линии из специального оборудования—седы-

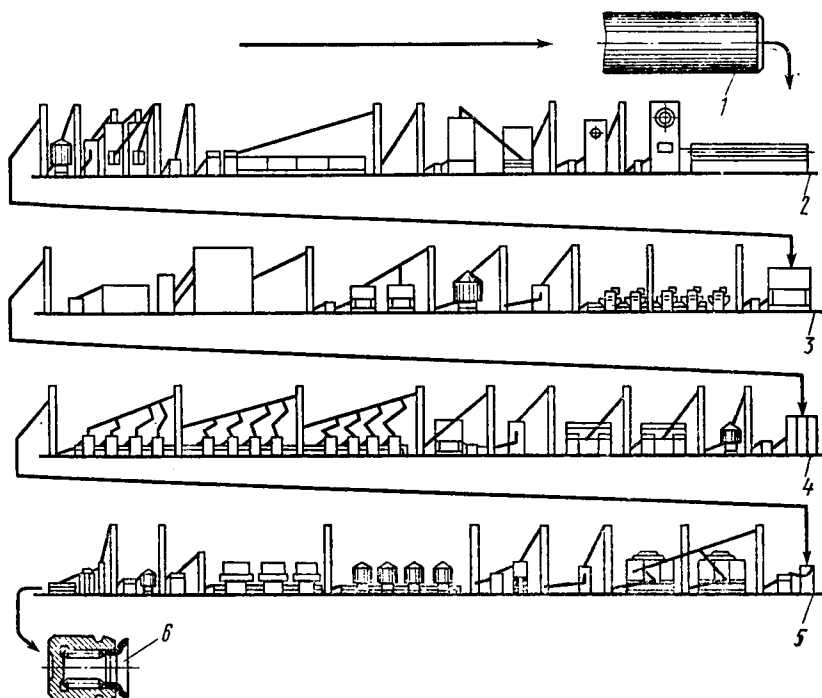


Рис. 1-16. Комплексная автоматическая линия для производства карданных подшипников серии 704702

мая группа. Так как технологический процесс обработки проектируется, как правило, специально для данной линии, то линия может обеспечивать очень высокую производительность. Вместе с тем общими недостатками всех линий из уникального оборудования являются высокая стоимость и длительные сроки проектирования и освоения; поэтому линии из уникального оборудования наиболее эффективны для отраслей производства, связанных с массовым выпуском однотипной продукции, например подшипников.

Отличительной чертой большинства автоматических линий из специального оборудования является их комплексность. Такие линии

охватывают не только процессы механической обработки, но и сборки, контроля, смазки и упаковки, а нередко и операции получения заготовок.

На рис. 1-16 представлена комплексная автоматическая линия, рассчитанная на выпуск 6—7 млн. подшипников в год. Она состоит из участка 2 для изготовления заготовок из горячекатаных прутков 1, участка 3 токарной и термической обработки, участка 4 для шлифования

наружной цилиндрической поверхности, шлифования отверстия и дна колец, шлифования торцов или бортиков и участка 5 контроля и сортировки колец на размерные группы и селективной сборки и упаковки подшипников 6. Таким образом, оборудование этого комплекса разнообразно по типажу и должно отличаться большой производительностью при высоких требованиях к точности изделий. В результате работы комплекса на выход поступает готовый, упакованный карданный подшипник (серии 704702).

Комплексные автоматические линии из специального оборудования являются основой для создания более сложных автоматических систем машин — автоматических цехов и заводов.

Цехи и заводы-автоматы, которые находят широкое применение, например, в пищевой и химической промышленности, создаются также в машиностроении и прежде всего в подшипниковой промышленности.

Для определенных видов изделий успешно применяются автоматические линии из специального оборудования, созданные на базе роторных машин и роторных транспортирующих устройств.

Роторные машины имеют систему инструментов, расположенных по окружности. Заготовки обрабатываются в каждой рабочей позиции ротора при непрерывном его вращении. Изделия транспортируются от одной рабочей машины к другой так же вращающимися транспортными роторами.

На рис. 1-17 показана схема работы роторной машины системы Кошкина. Заготовка в зоне I подается в рабочий ротор, закрепленный на валу 6, транспортным питающим ротором 13 при его непрерывном вращении. В зоне II при вращении рабочего ротора заготовка обрабатывается, и в зоне III деталь снимается транспортным ротором 12

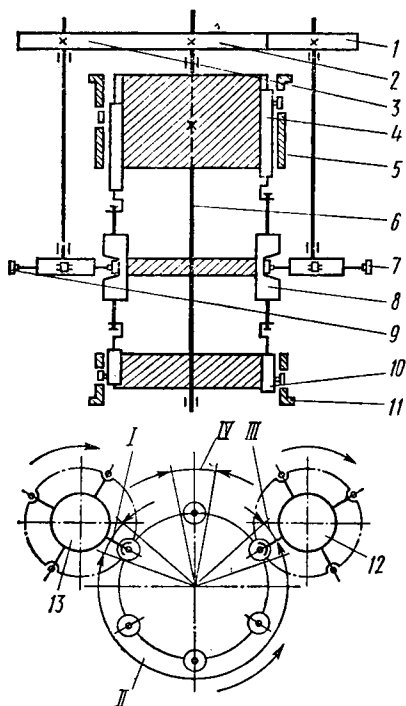


Рис. 1-17. Схема работы роторной машины

посредством несущих органов 7. Несущие органы 7 и 9 приводятся во вращение зубчатыми колесами 3, 2, 1.

В зоне IV происходит смена инструмента. Инструменты крепятся в блоках 8, которые при вращении ротора перемещаются ползунами 4 и 10 под воздействием неподвижных копиров 5 и 11.

Таким образом, обработка объекта на роторных автоматических линиях от первоначальной заготовки до готового изделия идет при непрерывном движении как заготовки, так и инструмента. Преиму-

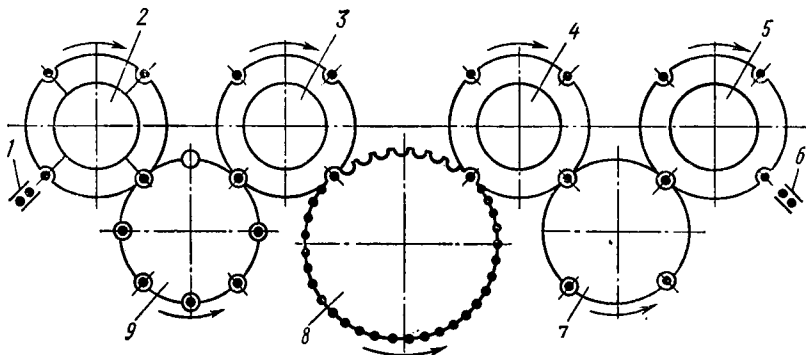


Рис. 1-18. Схема роторной линии

ществом роторной линии является то, что при параллельной обработке заготовок в нескольких позициях в роторной машине единственный транспортный механизм — ротор этой машины, в то время как на обычных линиях при параллельной обработке требуется соответствующее число транспортных средств.

При этом, как и в любых автоматах параллельного действия, возможно получение одинаковой производительности на всех операциях независимо от их продолжительности. Для этого необходимо создать многопозиционную машину для длительных и малопозиционную — для кратковременных операций.

Схема такой линии показана на рис. 1-18, где рабочие роторы 7, 8, 9, имеют различное число позиций; заготовка из магазина-накопителя 1 проходит через транспортные роторы 2, 3, 4 и 5 и обрабатывается в рабочих роторах 7, 8 и 9, имеющих различное число позиций, и поступает в приемный магазин 6.

При мелкосерийном выпуске, недостаточном для окупаемости линии, роторные машины можно оснащать различными инструментами для одновременной обработки различных изделий.

Схема такой многономенклатурной роторной линии показана на рис. 1-19. Наиболее успешно на этих линиях осуществляются штамповочные, вытяжные, сборочные и контрольные операции.

В целях уменьшения простоев в роторных линиях иногда предусмотрено место и время для контроля и смены износившегося инструмента.

На рубеже 50—60-х годов появилась восьмая группа металло-режущего оборудования: станки и автоматические линии с программным управлением. Их бурное развитие и совершенствование связано с объективными тенденциями технического прогресса в машино- и приборостроении.

Под системами программного управления понимают системы, в которых программа задается цифрами, получаемыми непосредственно из чертежей деталей, подлежащих обработке. Это позволяет использовать ЭВМ как для подготовки программ, так и для управления

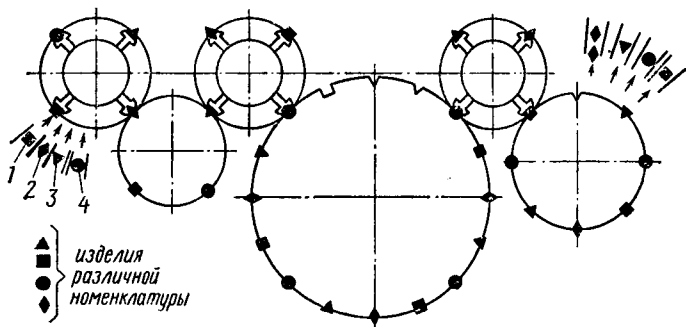


Рис. 1-19. Схема многономенклатурной роторной линии:
1, 2, 3, 4 — типы обрабатываемых деталей

станками. Числовое управление технологическим оборудованием является качественно новым этапом автоматизации, который повлек за собой глубокие изменения как технологии, так и конструкции самих станков, организации и управления производством.

Высокая мобильность систем числового программного управления делает экономически выгодным применение их в единичном, мелко-серийном, а также и массовом производстве, где происходит частая смена объекта производства. Системы числового управления позволяют процесс подготовки производства (программирование) поднять на новую ступень, так как появляется возможность централизованной подготовки программ с применением современных средств вычислительной техники. Большим преимуществом систем программного управления является возможность создания самонастраивающихся систем, которые могут самостоятельно выбирать оптимальные режимы работы.

Тенденцией последнего времени является развитие станков с программным управлением и высокой концентрацией технологических возможностей — так называемых многоцелевых станков и автоматических линий, составленных из них. Их характерной особенностью является наличие автоматического магазина, в котором содержится комплект инструментов, необходимых для выполнения комплекса технологических операций.

На рис. 1-20 представлена схема автоматической линии с программным управлением, в которую входит пульт управления 1, управляю-

щий сверлильным станком 2, фрезерным станком 3 и многоцелевым станком с инструментальным магазином 4. Автоматическая линия предназначена для обработки деталей мелкосерийного производства.

Повышение быстродействия ЭВМ и прогресс в области ЭВМ, работающих в режиме деления времени, привел к тому, что одна ЭВМ

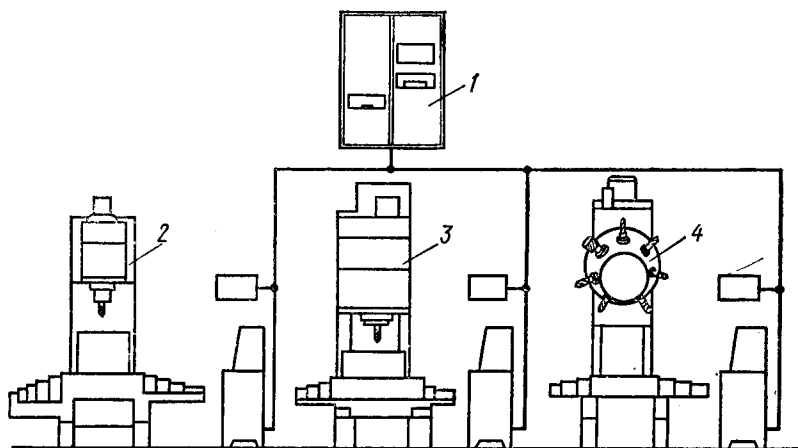


Рис. 1-20. Схема автоматической линии с программным управлением

стала использоваться для управления несколькими станками (рис. 1-21).

Этот вид управления представляет большое преимущество в области использования ЭВМ. В наиболее простой форме эта система накапливает программы в центральной памяти П, затем эти программы распределяются по системам СПУ, минуя считывающие устройства СУ. Уже разработаны специальные ЭВМ для этой цели; наибольшее число станков, которое может управляться от одной ЭВМ, зависит от ее мощности и не превышает 250. Но для управления таким большим количеством станков С одна центральная ЭВМ связана с ними через ряд промежуточных линий ЭВМ, каждая из которых управляет небольшой группой станков. При этом функции управления разделяются между центральной и промежуточной ЭВМ.

Ограничений по типам

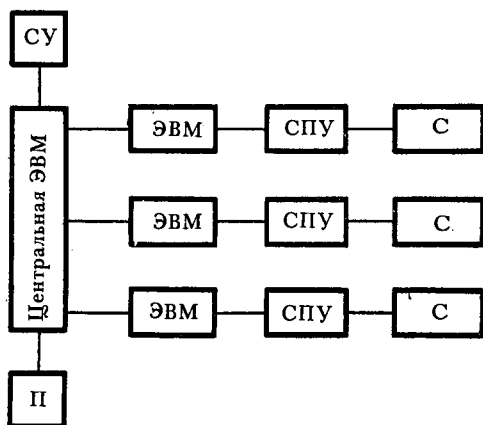


Рис. 1-21. Схема системы управления станками от ЭВМ

управляемых станков нет, однако желательно, чтобы каждая группа станков образовывала бы единое целое, хотя сами станки могут быть расположены в разных местах.

Таким образом, можно управлять группой станков, предназначенных для обработки всех деталей одного и того же узла и т. п. В такие технологические группы могут входить все родственные детали предприятия.

Подобная схема дает ряд преимуществ: сокращает рабочую силу и время, необходимые для записи и хранения перфолент; повышение коэффициента использования станка вследствие устранения перфоленты и исключение тем самым времени на ее установку, перемотку, замену и т. д.; исключаются ошибки, возникающие вследствие загрязнения перфолент; сокращается время длительности производственного цикла и незавершенного производства; небольшой дисковый накопитель заменяет собой большую библиотеку перфолент.

Главным же преимуществом этой системы является наличие центральной ЭВМ, которая позволяет сочетать программное управление станками с общим управлением производством и осуществлять автоматизацию оперативного управления станками в соответствии с поступающими заказами, их приоритетом и наличием материальных ресурсов. Это, в свою очередь, дает возможность осуществлять немедленную коррекцию программ в процессе проверки методом диалога. Такого рода редактирование программ существенно снижает время, затрачиваемое на проверку программ, их коррекцию и оптимизацию, в результате чего снижается так же длительность производственного цикла при запуске нового изделия в производство.

Существует два способа управления станками от ЭВМ: способ, когда ЭВМ связана со станками, имеющими соответствующую систему ЧПУ (система ЭВМ—ЧПУ); способ прямого управления станками от ЭВМ.

Система ЭВМ—ЧПУ имеет ЭВМ, воспроизводящую произвольные наборы входных данных. Гибкость управления — основное преимущество подобных систем. Кроме того, эти системы в отличие от простого ЧПУ могут выполнять диагностические операции, обнаружение неисправностей в работе ЭВМ, «распечатывание» или вывод на воспроизводящее устройство (дисплей) сигналов, определяющих причину сбоев в работе системы. Это уменьшает простои из-за неисправностей системы управления.

Информация об ошибках исключает отказы системы, при этом ошибки могут быть как структурными, так и текущими. Структурные ошибки выявляются специальными диагностическими программами. Текущие ошибки обусловлены неисправностями во время работы системы (например, падение давления в гидросистеме). Информация об ошибке задается цифровым кодом.

Важным преимуществом системы ЭВМ—ЧПУ являются простота программирования, включающая подготовку программы ЭВМ. Перфолента с заданными входными данными содержит минимальное количество информации, при этом используется машинное программирование и, например, для обработки окружности в ЭВМ достаточно

ввести только радиус. Кроме того, имеется возможность оптимизировать последовательность обработки.

В настоящее время эти системы широко применяются для управления группами сверлильных станков. Для этих станков характерно большое разнообразие деталей при большом объеме программирования. При этом в ЭВМ вводится лишь описание деталей в общем виде. ЭВМ производит полное определение геометрических параметров.

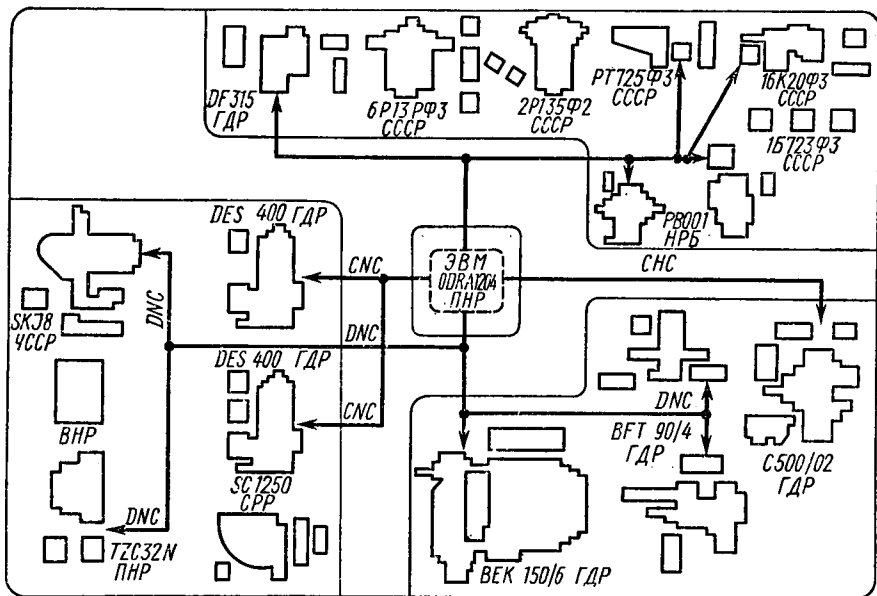


Рис. 1-22. Схема управления участком станков от ЭВМ

При использовании достаточно мощных ЭВМ возможно применение контурных систем ЭВМ—ЧПУ. Функция интерполирования, выполняемая ЭВМ, может заменить сложную систему обычных интерполяторов. Например, фирма «Бендикс» использует систему ЭВМ—ЧПУ для управления несколькими пятикоординатными станками.

На Лейпцигской ярмарке 1974 г. был представлен участок станков, управляемых от одной ЭВМ. Участок разработан странами СЭВ.

В участок (рис. 1-22) входят 16 станков, пять из которых изготовлены в СССР, семь в ГДР и по одному в НРБ, ПНР, ЧССР и ЧССР.

Система управления участком станков позволяет по методу прямого числового программного управления обслуживать до 80 станков от одной ЭВМ типа ODRA-1204 (изготовитель ПНР). При использовании этого метода не требуется система ЧПУ в обычном смысле, а управление осуществляется от отдельного устройства, представляющего собой связующее звено (линии ЭВМ) между центральной ЭВМ и станком. Путем комбинации методов прямого управления от ЭВМ (DNC) и системы ЭВМ-ЧПУ (CNC) можно добиться оптимального использования ЭВМ при управлении большим комплексом станков.

В целях более широкой автоматизации мелкосерийного производства в современном машиностроении используют автоматизированные технологические комплексы с управлением от электронных вычислительных машин (ЭВМ).

Под автоматизированным технологическим комплексом понимают единую автоматизированную систему, объединяющую несколько автоматических линий последовательного или параллельного действия, оснащенных системами программного управления и управляемых от ЭВМ.

Создание автоматизированных технологических комплексов позволяет резко повысить производительность при том же числе единиц оборудования, увеличить точность обработки, сконцентрировать все операции в едином комплексе. Все оборудования автоматизированных технологических комплексов объединено общим транспортом. В результате обеспечивается рост производительности труда и уменьшается количество обслуживающего персонала, существенно сокращаются занимаемая площадь и межоперационные заделы заготовок, дополнительно повышается качество обработки и ее стабильность. При разработке автоматизированных технологических комплексов появляется возможность оптимального распределения технологических операций, унификации транспортных систем и устройств и агрегатирования.

Функцией ЭВМ в системах управления автоматизированными технологическими комплексами является управление циклом, сбор данных о состоянии и работе отдельных агрегатов и линий, одновременное управление циклом и контроль работы автоматических линий.

Использование ЭВМ обеспечивает простоту и гибкость перестройки логической схемы управления. Эта перестройка сводится к замене программы ЭВМ. Статистические данные показывают, что благодаря управлению от ЭВМ время простоев из-за неисправности в электросхеме составляет примерно 45% по сравнению с релейной автоматикой. Это объясняется отсутствием ненадежных контактов, автоматическим поиском и анализом неисправностей.

Наибольшим потенциальным резервом снижения простоев является сокращение времени, затрачиваемого на поиск и замену вышедшего из строя инструмента, уменьшение его поломок, а также формирование предупредительных сигналов о снижении запасов деталей в бункерах.

Комплексная автоматизация технологических процессов возможна лишь на базе решения целого ряда конструкторских и организационных проблем дальнейшего сокращения затрат живого труда работников, непосредственно занятых в данном производстве. При этом и решаемые прежде задачи замещения механизмами и устройствами различных функций, выполняемых ранее человеком, должны решаться на стадии комплексной автоматизации на новом, более высоком уровне, как правило, иными методами.

На рис. I-23 представлена схема автоматизированного участка АУ-1 с групповым программным управлением для комплексной механической обработки деталей типа тел вращения. На участке производится токарная, фрезерная и сверлильная обработка.

Управление участком, диспетчирование и учет производства осуществляется от ЭВМ 1 типа «Минск-32» и ЭВМ 3 типа «Днепр-3». В со-

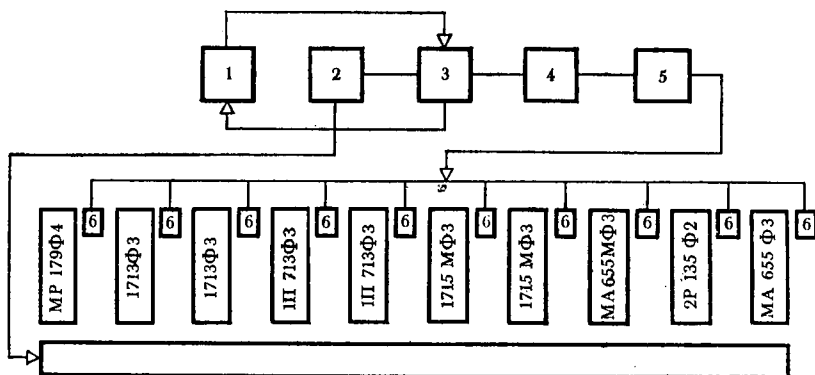


Рис. I-23. Схема автоматизированного участка АУ-1

став системы управления входят также блоки управления транспортно-складской системой 2, блоки памяти и ввода программы 4, интерполяторы 5 и индивидуальные пульты ЧПУ 6.

Участок состоит из комплекта станков с ЧПУ, который позволяет выполнять указанные операции. В состав участка входит фрезерно-центровальный станок модели МР179ФЧ, выполняющий подготовку технологических баз в деталях типа валов, т. е. на нем производится подрезка торцов и зацентровка. Этот станок оснащен инструментальным магазином на 36 позиций, силовой головкой с фрезерным и сверлильным шпинделями и поворотным столом с двумя самоцентрирующимися зажимными дисками. Инструментальный магазин-на задней стороне станка. Смена режущего инструмента осуществляется с помощью автооператора, расположенного на верхней части станины. Второй торец детали обрабатывается после поворота стола с укрепленной на нем заготовкой.

Следующие два станка — токарно-центровые полуавтоматы модели 1713Ф3 предназначены для обработки валов, не требующей большого количества инструментов. Вследствие этого станки оснащены четырехпозиционной револьверной головкой.

На следующих двух токарных центровых полуавтоматах 1П713Ф3 производится обработка деталей типа фланцев, также не требующая большого количества инструментов. Станки имеют пятипозиционную револьверную головку.

Два токарных патронно-центровых полуавтомата 1715МФ3 предназначены для обработки деталей типа валов и фланцев больших

размеров. Станки оснащены инструментальными магазинами по восемь позиций в каждом. Смена инструмента вместе с блоком, в котором он крепится, производится при возвратно-поступательном движении магазина вдоль оси шпинделя и его повороте в нужную позицию. Полуавтоматы оснащены самоприспосабливающейся системой управления, позволяющей вводить в систему ЧПУ коррекцию при износе режущей кромки инструмента.

Следующая группа станков предназначена для фрезерной и сверлильной обработки деталей типа фланцев и плоских кулачков. Фрезерная обработка производится на вертикально-фрезерных станках МА655МФЗ и МА655ФЗ. Первый из них оснащен двенадцатипозиционным инструментальным магазином. Сверлильные операции осуществляются на вертикально-сверлильном станке 2Р135Ф2 с шестипозиционной револьверной головкой.

Все станки оснащены высокоскоростными электрогидравлическими приводами подач с шариковой винтовой парой. Кроме этого, обеспечивается выполнение по программе всех технологических функций (регулирование чисел оборотов шпинделя и величины подач, смена режущего инструмента и т. д.).

Транспортно-накопительная система деталей состоит из автоматизированного склада, обслуживаемого электроштабелером и устройства для транспортирования заготовок, полуфабрикатов и готовых изделий по участку.

Автоматизированный склад имеет трехъярусные стеллажи, которые состоят из десяти секций (по числу станков в участке). Каждая секция имеет четыре вертикальных ряда ячеек. Ячейка рассчитана на две тары. Общая емкость стеллажей — более 200 тар с деталями — достаточна для семи-восьмичасовой работы станков участка без пополнения запаса заготовок и изъятия готовых деталей.

Одна из нижних ячеек каждой секции занята тележкой, транспортирующей тару с заготовками к станку. Вторая тележка с партией деталей в это время находится у станка. По окончании обработки всей партии тележки меняются местами.

Электроштабелер представляет собой каретку, которая перемещается по двум координатам вдоль стеллажей. В функции штабелера входят: 1) автоматический поиск нужной партии заготовок или полуфабрикатов и установка их на тележку; 2) снятие деталей с тележки и передача в свободные ячейки; 3) распределение поступающих заготовок по ячейкам склада; 4) доставка готовых деталей к месту их выдачи.

Транспортирование и накопление деталей производится транспортно-накопительной системой (рис. 1-23). Эта система включает автоматизированный склад, обслуживаемый электроштабелерами и устройства для транспортировки заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей по участку. Штабелер является основным устройством, осуществляющим перемещение деталей по транспортно-технологическим маршрутам.

В функции управляющей ЭВМ входит также расчет последовательности обработки партии деталей с учетом наличия нужных заготовок

на складе, режущего инструмента в системе инструментального обеспечения и управляющих программ в оперативной памяти системы.

На рис. 1-24 приведена структурная схема автоматического участка АП-1. Этот участок служит для обработки корпусных деталей габаритом $500 \times 500 \times 500$ мм и состоит из разметочной машины, фрезерных станков с ЧПУ, расточного и сверлильного станков с ЧПУ и контрольной машины. В участке предусмотрено применение мини-ЭВМ на каждом станке, связанных с центральной ЭВМ, что обусловлено необходимостью внесения сравнительно большого объема коррекций на уровне кадра для обеспечения высокой надежности протекания технологических процессов и учета изменений в реальных условиях производства. Без этого невозможно обеспечить качество и точность обработки пространственно-сложных корпусных деталей.

Автоматический участок АП-1 (рис. 1-24) включает в себя устройство ввода 1, устройство ввода 2, ЭВМ М6000 3, блок сопряжения 4, спецпроцессоры 5, станки 6, устройство локального управления складом заготовок и приспособлений 7, склад заготовок и приспособлений 8, устройство управления складом инструмента 9, пульт центрального диспетчера 10, инструментальный склад 11. Перед станками не предусмотрено транспортных средств, а подача заготовок осуществляется штабелером. Для этого предусмотрены плиты-спутники, в которых закрепляются обрабатываемые заготовки. Спутник с закрепленной заготовкой поступает на поворотный стол-робот и затем направляется на обработку.

Инструментальное отделение имеет семь стеллажей, в которых инструмент подобран по комплектам и хранится в магазинах. Магазины барабанного типа комплектуются на втором этаже и подаются моторельсом к станку и надеваются на ось. Время смены барабана с инструментом составляет 5 мин, общая мощность АП-1 составляет 410 кВт, которая расходуется 370 электродвигателями. Площадь, занимаемая всем комплексом АП-1, составляет 1728 м².

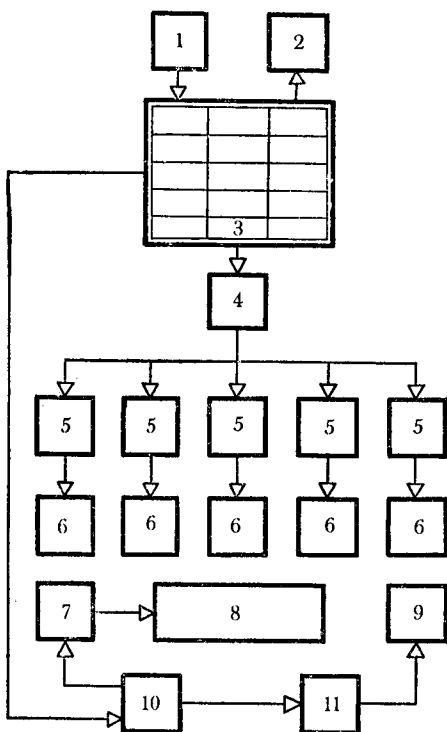


Рис. 1-24. Структурная схема автоматизированного участка АП-1

Система программного управления выполняет функции не только непосредственного управления агрегатами, но и прежде всего подготовки программы обработки (автоматического программирования по входным данным обрабатываемых изделий — размеры, технические требования, производственная программа, последовательность запуска и т. д.). При этом, если на обработку поступают изделия, уже бывшие частично в обработке, данные поступают непосредственно в ЭВМ. Для вновь поступающих изделий производится калькуляция и составление маршрута обработки.

Примером одной из первых в мировой практике программных систем для обработки деталей типа тел вращения служит комплекс Rota-F-125 NC (рис. 1-25), созданный станкостроительным комбинатом им. 7 Октября (ГДР). В эту систему входят семь станков 6: один токарный, три токарно-револьверных, два вертикально-фрезерных и один круглошлифовальный; все станки оснащены ЧПУ. Эти станки имеют круговое расположение под поворотным центральным магазином 1, с которым их связывают вертикальные транспортеры 2 с подвижными загрузчиками 4, и управляются от пульта 3.

Магазин заготовок имеет диаметр 5 м и состоит из девяти кольцеобразных накопителей I—IX, которые могут вращаться независимо друг от друга. Таким образом, каждому из семи станков, а также загрузочной и разгрузочной станциям соответствует одна секция магазина. Емкость магазина $9 \times 60 = 540$ заготовок.

Данная система позволяет одновременно обрабатывать несколько серий однотипных деталей 5. Для обеспечения единой системы зажима на станках и транспортирования заготовки устанавливаются в двух-, трех-, четырех- или шестикулачковые прецизионные зажимные патроны (первичный зажим), имеющие единые наружные размеры, исключающие деформацию деталей. Благодаря применению четырех различных патронов обеспечивается зажим наружных поверхностей диаметром 10—138 мм и внутренним диаметром 28—124 мм.

При повторном зажиме обрабатываемых деталей на станках обеспечивается точность установки по окружности порядка 20 мкм. Эта величина может быть уменьшена до 5 мкм благодаря юстированию с помощью установочного винта.

На станках с ЧПУ обработка производится геометрически точными резцами с автоматической сменой инструментов.

Программная система Rota-F-125 NC обеспечивает: а) свободный выбор типа станков и их количества в зависимости от состава серий обрабатываемых деталей; б) независимую друг от друга обработку нескольких серий деталей в одно и то же время; в) гарантированное счетно-вычислительными приборами программирование станков, входящих в систему; г) гарантированную счетно-вычислительными приборами оптимизацию технологической обработки детали за определенный отрезок времени.

За пределы выносятся такие ручные операции, как зажим заготовок в шестикулачковых патронах (первичный зажим), предварительная установка необходимых режущих инструментов и контрольных приборов в приспособления. Заготовки, закрепленные в первичном за-

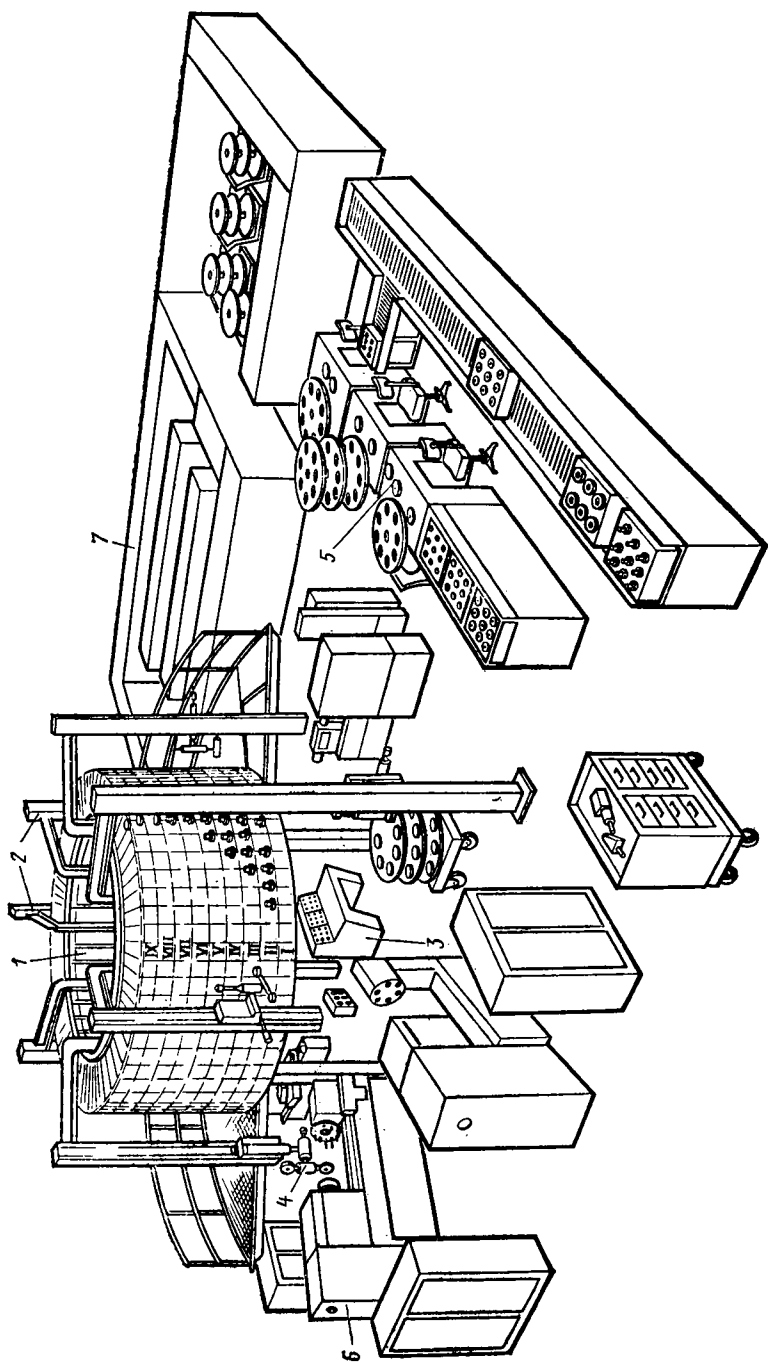


Рис. I-25. Автоматизированный технологический комплекс с управлением от ЭВМ

жимном патроне, устанавливаются вручную на транспортер емкостью 30 заготовок, что соответствует средней величине серии, и перемещаются в загрузочной или разгрузочной станции, где заготовки с помощью вертикально движущейся со скоростью 30 м/мин зажимной цанги укладываются в соответствующую секцию магазина. Одновременно готовые детали вынимаются из центрального магазина и укладываются в транспортер 7. Таким образом осуществляется автоматиче-

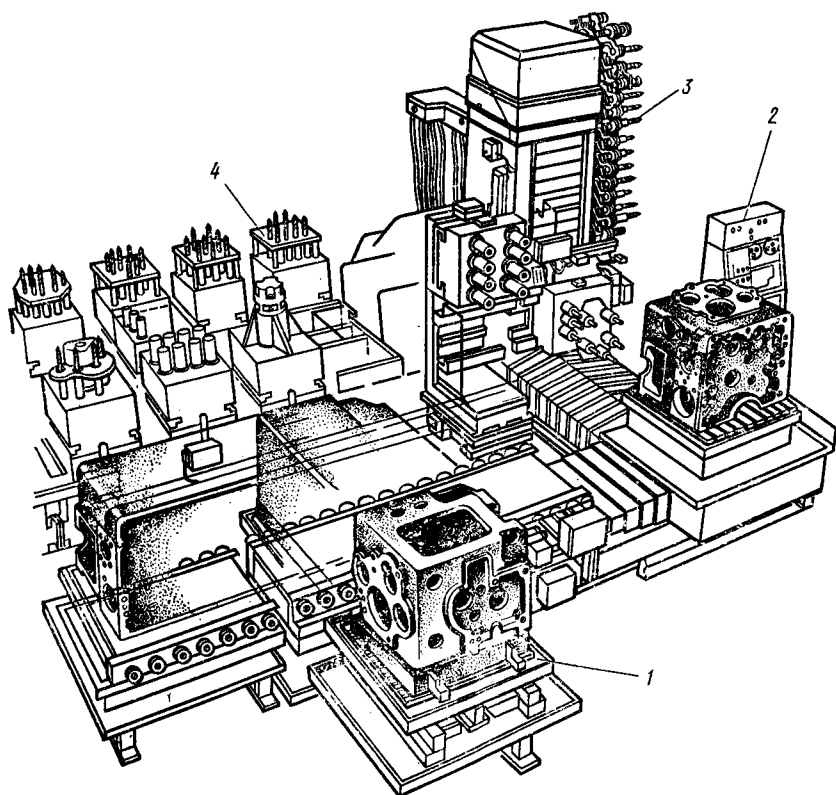


Рис. I-26. Автоматизированный технологический комплекс для обработки сложных корпусных деталей

ский цикл движения определенного числа заготовок к центральному магазину и соответственно готовых деталей от него.

При поступлении сигнала о начале обработки в загруженную секцию магазина от одного из семи станков секция магазина получает быстрый поворот, и детали перемещаются к соответствующему станку. Затем заготовка с помощью зажимной цанги загрузчика вынимается из центрального магазина и подается на обработку к станку. Заготовка, установленная в первичном патроне, центрируется и зажимается во вторичном зажимном устройстве на шпинделе станка. После об-

работки заготовки на станке готовая деталь с помощью зажимной цанги загрузчика возвращается в секцию центрального магазина. Время замены заготовки составляет 12 с, время выборки заготовок из средней секции магазина — 32 с.

После обработки на других станках готовые детали поступают опять к загрузочно-разгрузочной секции и транспортером подаются к разжимной станции. После ультразвуковой очистки готовые детали освобождаются вручную из первичного зажимного устройства и транспортируются из автоматизированной системы станков. Эта система станков очень универсальна и позволяет производить различные виды работ: токарную обработку, нарезание наружных и внутренних резьб, сверление, развертывание и т. п., фрезерование концентрических и других форм, шлифование плоских и цилиндрических поверхностей в различных комбинациях.

Более сложный автоматический комплекс представляет собой система (рис. 1-26). Она состоит из стола-спутника 1, пульта управления 2 агрегатного станка с инструментальным магазином 3 и сменных инструментальных головок 4. Такой автоматический комплекс позволяет по определенной программе производить установку заготовок в зону обработки, подавать нужный магазин с режущим инструментом и выполнять различные технологические операции.

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

§ 1. ТЕОРИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА КАК НАУЧНАЯ ОСНОВА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ВОПРОСОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Автоматизация производственных процессов, создание и внедрение автоматизированного технологического оборудования во всех отраслях производства выдвинули большое количество научно-технических проблем, положили начало целому ряду новых научных направлений.

Универсальное неавтоматизированное оборудование, как правило, по своим конструктивно-компоновочным решениям маловариантно. Так, все токарные станки имеют слева шпиндельную бабку, коробку скоростей и подач, а справа — заднюю бабку; подача прутка производится слева направо, а рабочая подача суппорта — справа налево, вращение шпинделя при обточке — против часовой стрелки и т. д. Это обусловлено тем, что конструкция и компоновка таких станков десятилетиями, а иногда и столетиями складывалась и отрабатывалась из условия совместной работы системы человек—машина применительно к возможностям человека, максимальному удобству обслуживания. Поэтому можно утверждать, что и в будущем не произойдет коренных преобразований конструкции и компоновки токарных станков, например перехода на конструкции с вертикальной осью, потому что это прежде всего создает неудобства в работе.

Конструктивное совершенствование универсального неавтоматизированного оборудования происходит, как правило, достаточно медленно путем увеличения мощности и быстроходности привода, повышения геометрической точности и жесткости узлов и т. д. Теоретической основой решения этих задач являются такие научные направления, как кинематика и динамика машин, сопротивление материалов; при конструировании станков обычно проводят прочностные и кинематические расчеты, расчеты режимов обработки по критериям стойкости инструмента, потребляемой мощности и др.

Внедрение полуавтоматов и автоматов, тем более автоматических систем машин, снимает любые ограничения в реализации технологи-

ческих процессов, конструкций и компоновок, связанные с непосредственным участием человека в производственных процессах обработки, контроля или сборки. Поэтому при проектировании автоматизированного оборудования возможно большое количество вариантов построения машин и систем машин.

Так, автоматические машины одинакового технологического назначения для обработки одних и тех же изделий отличаются друг от друга:

- 1) характером выполняемого технологического процесса (методы, маршрут, режимы обработки, степень дифференциации и концентрации операций);

- 2) принципом действия (последовательное, параллельное, последовательно-параллельное, непрерывное или дискретное);

- 3) числом рабочих и холостых позиций обработки;

- 4) направлением геометрической оси (вертикальное, горизонтальное, наклонное);

- 5) компоновочным решением, например расположение позиций по окружности или прямой линии;

- 6) степенью автоматизации (полуавтомат, автомат, линия);

- 7) степенью универсальности;

- 8) степенью унификации конструкции.

Автоматические линии, кроме того, имеют вариантность выбора числа параллельных потоков и числа участков-секций, типа и емкости межоперационных накопителей и т. д.

Совершенно очевидно, что ни одна из задач выбора оптимального варианта проектируемого автомата или автоматической линии не может быть решена с помощью общепринятых прочностных и кинематических расчетов конструирования станков.

Следует при этом отметить, что любую продукцию, обрабатываемую на автоматах и автоматических линиях, можно получить и на универсальном неавтоматизированном оборудовании. Цель автоматизации — прежде всего повышение производительности машин и сокращение количества обслуживающих рабочих, а в конечном счете — получение экономического эффекта по сравнению с неавтоматизированным производством. Поэтому автоматы и автоматические линии должны проектироваться прежде всего с позиций обеспечения высокой производительности и экономической эффективности новой техники. Следовательно, научной основой автоматизации производственных процессов является теория производительности машин и труда, которая позволяет не только решать практические задачи расчета и проектирования автоматизированного оборудования, но и проблемные вопросы анализа и оценки путей автоматизации, выбора наиболее перспективных ее направлений.

Математическую основу теории производительности составляют уравнения, связывающие показатели производительности машин и производительности труда с технологическими, конструктивными, структурными, стоимостными и другими показателями оборудования. Тем самым методы теории производительности позволяют не только подсчитывать количественно производительность машин или эконо-

мическую эффективность их внедрения, но и анализировать различные возможные варианты автоматизированного оборудования, выбирать такие параметры проектируемых машин, которые являются оптимальными и обеспечивают максимальную производительность или наибольший экономический эффект.

Основные положения теории производительности были сформулированы Г. А. Шаумяном еще в 1932—1933 гг. С тех пор это научное направление непрерывно развивается, получая развитие в самых различных отраслях производства. В наиболее полной и завершенной

форме основные положения теории производительности изложены в работах [29], [30], [31].

Сущность метода, предложенного Г. А. Шаумяном, состоит в том, что математически непосредственно связываются между собой технические и экономические показатели. Такие сравнения представляют собой в совокупности математическую модель автоматов и автоматических линий по производительности и эффектив-

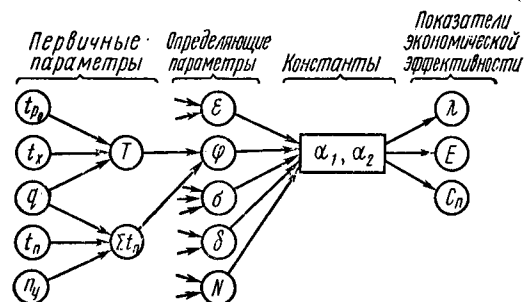


Рис. II-1. Структурная схема математической модели взаимосвязи показателей производительности и эффективности автоматов и автоматических линий

ности. Тем самым появляется возможность количественно определять, как влияют любые изменения технико-экономических параметров, анализируемых вариантов на их экономические показатели.

Структурная схема математической модели приведена на рис. II-1. Она включает в себя:

а) **первичные параметры**, характеризующие технологию, конструкцию и компоновку машин, уровень их эксплуатации; так, для производительности машин первичными параметрами являются: режимы и общая длительность обработки $t = t_{p0}$, время холостых ходов цикла t_x , внецикловые потери конструктивных элементов t_n , число рабочих позиций q и участков, на которое разделена линия n_y ; они определяют численно длительность рабочего цикла системы T и суммарные внецикловые потери Σt_n как характеристику работоспособности;

б) **определяющие вариационные параметры**, которые представляют собой технико-экономические параметры сравниваемых вариантов по производительности φ , стоимости σ , количеству обслуживающих рабочих ϵ , удельным эксплуатационным затратам δ , срокам службы N и др.;

в) **постоянные для данной модели параметры**, которые входят в формулы как константы, например нормативные показатели по амортизационным отчислениям α_1 , ремонтным затратам α_2 и т. д.;

г) показатели экономической эффективности: рост производительности труда λ , коэффициент эффективности капиталовложений E , приведенные затраты C_n и др.

Важным достоинством такой математической модели является ее «реверсируемость». Так, зная фиксированные числовые значения определяющих параметров, начиная с самых первичных (v, s, t_x, q), можно определить соответствующие значения экономических показателей и тем самым выбирать наилучшие варианты из числа технически возможных — прямая задача. С другой стороны, задаваясь требуемыми или оптимальными значениями экономических показателей (например, допустимыми или минимальными сроками окупаемости), можно решать уравнения в обратном направлении, получая требуемые значения технических или экономических параметров, вплоть до первичных.

Таким образом, методы теории производительности позволяют независимо от принятых критериев экономической эффективности, типа оборудования и его специфики решать следующие задачи расчета и проектирования:

1) выбирать экономически наиболее эффективный вариант на основе инженерного анализа конкретных технико-экономических параметров сравниваемых вариантов (производительности и надежности в работе, стоимости, количества обслуживающих рабочих, сроков проектирования и службы и т. д.);

2) определять исходя из требуемого экономического эффекта, каким сочетанием технических характеристик должны обладать проектируемые автоматы и автоматические линии, количественно оценивать граничные условия автоматизации;

3) оптимизировать технические характеристики проектируемых машин по экономическим критериям.

Повышение любых экономических показателей новой техники, количественно определяющее технический прогресс производства, является следствием совершенствования тех или иных технических или экономических характеристик (интенсификации режимов обработки, повышения надежности механизмов и устройств, снижения стоимости благодаря унификации и т. д.). Пользуясь математическими моделями теории производительности, можно количественно анализировать, как влияют те или иные направления развития технологии и конструирования на технический прогресс, т. е. оценивать перспективность различных направлений автоматизации.

Так как в формулах теории производительности машин и труда одним из определяющих вариационных параметров является параметр времени (сроки службы, сроки проектирования и освоения новой техники), то теория производительности позволяет количественно анализировать процессы развития техники, перспективы технического прогресса, в том числе процессы морального старения машин во времени.

Таким образом, теория производительности, ее математический аппарат являются научной основой решения проблемных и прикладных вопросов автоматизации производственных процессов.

В основе теории производительности машин и труда лежат следующие основные положения (постулаты):

1. Каждая работа для своего совершения требует затрат времени и труда.

2. Производительно затраченным считается только то время, которое расходуется на основные процессы обработки (например, формообразование, контроль, сборку и т. д.). Все остальное время, включая время на холостые ходы и простои (машина непрерывного действия, бесконечной долговечности и абсолютной надежности) — потерями.

3. Машина считается идеальной, если при высоком потенциале производительности, качестве продукции отсутствуют потери времени на холостые ходы и простои (машина непрерывного действия, бесконечной долговечности и абсолютной надежности).

4. Для производства любых изделий необходимы затраты прошлого (овеществленного) труда на создание средств производства и поддержание их работоспособности и живого труда на непосредственное обслуживание технологического оборудования.

5. Закономерность развития техники заключается в том, что удельный вес затрат овеществленного (прошлого) труда непрерывно повышается, а затраты живого труда снижаются при общем уменьшении трудовых затрат, приходящихся на единицу продукции.

6. При разработке технологических процессов любой процесс производства, взятый сам по себе, безотносительно к руке человека, следует разлагать на составные элементы.

7. Производительность машин предела не имеет.

8. Автоматы и автоматические линии различного технологического назначения имеют единую основу автоматизации, которая выражается в общности целевых механизмов и систем управления, в общих закономерностях производительности, надежности, экономической эффективности, в единых методах построения машин, агрегатирования, определения режимов обработки, оценки прогрессивности и т. д.

9. При окончательной оценке прогрессивности новой техники учитывается фактор времени — темпы роста производительности труда.

Важнейшим фактором производительности труда являются затраты труда на создание, обслуживание и эксплуатацию рабочей машины. Эти затраты можно представить состоящими из трех компонентов:

1) единовременные затраты прошлого труда T_n , необходимые для создания машин, оборудования, зданий, сооружений и т. п.;

2) текущие затраты прошлого труда $T_{\text{н}}$, которые включают в себя часть овеществленного труда, затрачиваемую на основные и вспомогательные материалы, запчасти, электроэнергию, инструменты, топливо, смазку и т. п., необходимые для производства изделий.

В то время как текущие затраты прошлого труда непрерывно

растут пропорционально времени (годам), т. е. количеству выпущенной продукции, единовременные затраты прошлого труда являются разовыми, рассчитанными на весь срок службы машины $N_{\text{лет}}$, т. е. носят постоянный характер;

3) текущие затраты живого труда $T_{\text{ж}}$ обслуживающих рабочих, которые, используя средства, создают новые материальные ценности. Таким образом, производственный процесс обеспечивается единством рабочей силы и средств производства — совместными годовыми затратами живого труда $T_{\text{ж}}$, единовременными затратами средств труда $T_{\text{п}}$, рассчитанными на N лет, и годовыми затратами предметов труда $T_{\text{в}}$. Суммарные затраты за весь срок действия средств труда

$$T = T_{\text{п}} + N(T_{\text{ж}} + T_{\text{в}}). \quad (\text{II-1})$$

Производительность общественного труда оценивается путем сопоставления результатов трудового процесса — количества выпущенной продукции с суммарными трудовыми затратами, необходимыми для ее выпуска за некоторый интервал времени — срок службы машин N лет:

$$A_{\text{т}} = W/T, \quad (\text{II-2})$$

где $A_{\text{т}}$ — производительность труда; W — выпущенная годная продукция; T — суммарные трудовые затраты, необходимые для выпуска продукции.

Так как единовременные трудовые затраты на оборудование, здания и сооружения реализуются постепенно в течение срока службы, производительность труда определяется с учетом фактора времени — прежде всего сроков службы.

Определив суммарные затраты T и выпуск продукции W за весь срок службы, легко определить среднегодовые затраты, которые наиболее широко приняты на практике.

Размерность производительности труда в обобщенном виде

$$A_{\text{т}} = [\text{продукция/труд}].$$

При практических расчетах размерность производительности труда зависит от того, в каких единицах исчисляются выпущенная продукция и трудовые затраты.

Выпущенная годная продукция измеряется либо в физических величинах (штуки, единицы длины, массы, объема и др.), либо в стоимостном выражении (рубли). Суммарные трудовые затраты выражаются либо в единицах абстрактного труда (человеко-часы, человеко-дни и др.), либо в денежном выражении (рубли). В соответствии с этим при расчетах производительность труда может иметь различную размерность, а именно: [шт./чел-ч]; [шт./руб.]; [руб./руб.]

Количество выпущенной продукции зависит от того, сколько лет работает оборудование.

При постоянной производительности оборудования

$$W = Q_{\text{т}} N,$$

где $Q_{\text{т}}$ — годовой фактический выпуск продукции.

Подставляя значение W и T в формулу (II-2), получаем

$$A_T = \frac{Q_r N}{T_{\Pi} + N(T_v + T_{ж})}. \quad (\text{II-3})$$

Проанализируем полученную зависимость графически, выразив W , T и A_T в функции сроков службы N (рис. II-2). Здесь N — не текущее время эксплуатации машины, а возможные сроки службы как переменная величина, неизвестная в процессе проектирования. Анали

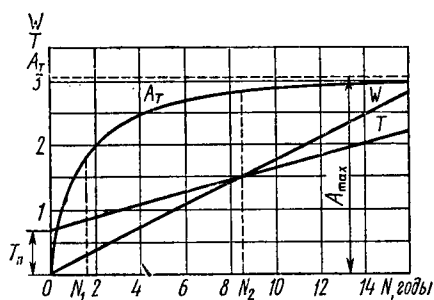


Рис. II-2. Зависимость выпущенной продукции, эксплуатационных затрат и производительности труда от сроков службы при неизменных эксплуатационных характеристиках

з производительности труда в функции сроков службы показывает ее переменный характер даже при неизменных технико-экономических характеристиках (производительность машин, их надежность, степень автоматизации и эксплуатационные затраты).

Уровень производительности труда при малых сроках службы относительно невысок, поскольку на сравнительно малый объем выпущенной за это время продукции требуются значительные затраты на средства производства. С ростом сроков службы производительность труда

увеличивается, так как единовременные затраты овеществленного труда T_{Π} раскладываются в этом случае на больший объем выпущенной продукции.

Представленный на рис. II-2 характер изменения производительности труда в зависимости от сроков службы показывает, что при малых сроках службы рост производительности труда довольно интенсивен, затем замедляется и при больших сроках практически прекращается, асимптотически приближаясь к своему пределу:

$$A_{T_{\max}} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{Q_r N}{T_{\Pi} + N(T_v + T_{ж})} = \frac{Q_r}{T_v + T_{ж}}. \quad (\text{II-4})$$

Если сроки службы машин находятся за пределами N_2 , то рост производительности труда мало зависит от сроков службы, т. е. практически прекращается, что может войти в противоречие с запланированным ростом производительности общественного труда. Отсюда можно сделать вывод, что производительность труда при данном уровне техники имеет свои пределы; чтобы выйти за эти пределы, необходимо непрерывно совершенствовать технологию и технику. Другой вывод — сроки службы машин определяются не только их физическим износом, но и характером зависимости производительности труда от сроков службы, и запланированным темпом роста про-

изводительности труда, т. е. сроками морального износа оборудования. Так, если при сроках службы от 0 до N_2 увеличение сроков службы на год позволяет значительно повысить производительность труда, то дальнейшее увеличение их (больше N_2) не дает заметного роста производительности труда. Таким образом, возникает вопрос о целесообразности сроков службы машин, лежащих за пределами N_2 .

Формулы (II-2)—(II-3) и графики (рис. II-2) справедливы для случаев, когда эксплуатационные показатели машин — количество выпущенной продукции $Q_{гi}$ и эксплуатационные затраты $(T_v + T_{ж})_i$ являются неизменными во времени и от длительности эксплуатации не зависят. В общем случае это не всегда справедливо, потому что в процессе эксплуатации всегда действуют необратимые факторы: с одной стороны, освоения, отработки технологии, повышения квалификации обслуживающих рабочих, с другой — старения машин вследствие износа, потери жесткости и геометрической точности узлов, накопления усталостных напряжений и т. д.

В качестве примера на рис. II-3 приведены зависимости годового выпуска и годовых эксплуатационных затрат от длительности эксплуатации для токарно-револьверных автоматов. Как видно, производительность сохраняется на относительно стабильном уровне лишь в течение 7—9 лет, после чего следует ее монотонное снижение.

Годовые эксплуатационные затраты, наоборот, изменяют тенденцию к возрастанию, главным образом, за счет увеличения затрат на ремонт и межремонтное обслуживание.

Отсюда зависимость суммарного выпуска продукции W и суммарных затрат T от сроков службы носит не прямолинейный, а более сложный характер (рис. II-4). На рисунке показаны графики W и T при условии сохранения показателей первого года эксплуатации на неизменном уровне, т. е. $W = Q_{г1}N$; $T = T_{п1} + N(T_{в1} + T_{ж1})$. Заштрихованные зоны показывают величину ошибки суммарных значений W и T при допущении о неизменном характере эксплуатацион-

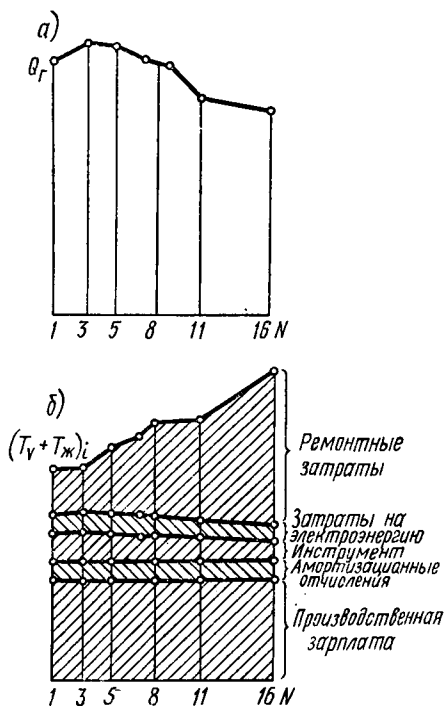


Рис. II-3. Эксплуатационные характеристики токарных одношпиндельных автоматов на различных стадиях эксплуатации:

а — годовой выпуск продукции; б — годовые эксплуатационные затраты (с разделением по категориям)

ных показателей для токарно-револьверных автоматов, которая довольно существенна. Поэтому с учетом переменного во времени характера Q_T и $T_v + T_{ж}$ производительность труда в соответствии с определением и общим выражением (II-2) подсчитываться по формуле

$$A_T = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} Q_{Ti}}{T_{\Pi} + \sum_{i=1}^{i=N} (T_v + T_{ж})_i} \quad (II-5)$$

В частном случае при $Q_{Ti} = \text{const}$, $(T_v + T_{ж})_i = \text{const}$ получается формула (II-3).

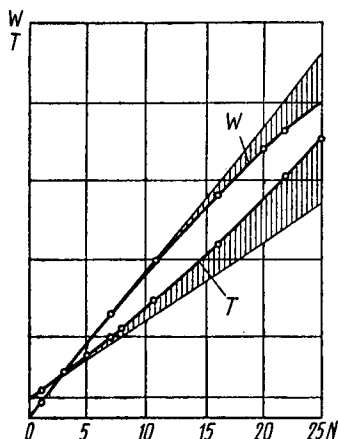


Рис. II-4. Суммарный выпуск продукции и затраты при переменных во времени эксплуатационных показателях Q_{Ti} и $(T_v + T_{ж})_i$

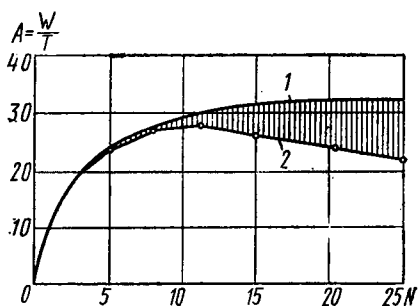


Рис. II-5. Производительность труда в зависимости от сроков службы: 1 — при постоянных эксплуатационных показателях; 2 — при переменных во времени эксплуатационных показателях

На рис. II-5 приведены графики зависимости производительности общественного труда при эксплуатации токарно-револьверных автоматов от сроков службы при переменных эксплуатационных показателях (рис. II-3 и II-4), рассчитанные по формуле (II-5). Как видно, при данном характере изменения Q_T и $(T_v + T_{ж})$ во времени зависимость $A_T = f(N)$ имеет не асимптотический, а экстремальный характер (ломаная линия 2).

Учет переменного характера W и T необходим при решении ряда практических задач проектирования и эксплуатации машин, например расчете оптимальных сроков службы (согласно рис. II-5, $N_{\text{опт}} = 11-13$ лет). В остальных случаях особенно при анализе путей и перспектив развития технического прогресса и автоматизации производственных процессов целесообразно принимать $Q_T = \text{const}$ и $(T_v + T_{ж}) = \text{const}$ и использовать уравнения (II-2) и (II-3).

Известно, что в трудах классиков марксизма первостепенное значение придается именно живому труду, рабочей силе, которая для

капиталистического способа производства противостоит как личный фактор вещным факторам, средствам производства*. Это справедливо только для капиталистических условий производства, когда средства производства являются частной собственностью и служат средством эксплуатации рабочих.

В социалистических условиях, где средства производства принадлежат обществу и отсутствуют антагонистические противоречия между живым и прошлым трудом, сохраняя приоритет живого труда («первая производительная сила всего человечества — есть рабочий, трудящийся»**), необходимо подчеркнуть особое значение прошлого труда. При новом общественном строе личный фактор — рабочая сила не противостоит вещным факторам — средствам производства, что дает возможность средства производства (средства труда и предметы труда) рассматривать и оценивать в мерах живого труда.

Преобразуем формулу (II-3) производительности труда. Принимая живой труд мерой (масштабом) оценки прошлого труда, эти затраты можно выразить в единицах живого труда, вводя коэффициенты k и m :

$$k = T_{\pi}/T_{ж}, \quad m = T_v/T_{ж},$$

где k — коэффициент технической вооруженности живого труда, характеризующий отношение единовременных затрат овеществленного труда на создание средств производства T_{π} к годовым затратам живого труда; m — коэффициент энергоматериалоемкости живого труда, характеризующий отношение годовых текущих затрат T_v овеществленного труда на инструмент, электроэнергию, вспомогательные материалы и ремонт к годовым затратам живого труда.

Так, если один рабочий обслуживает машину или систему машин ($T_{ж} = 1$), в действительности он работает не один. Чтобы выпускать продукцию в течение года Q_r , используется концентрированный труд k человек, из которого затрачивается в год k/N человек (прошлого труда). При этом еще m человек обеспечивают этого одного рабочего всем необходимым (материалами, инструментами, электроэнергией и пр.), без чего производство невозможно.

Число условно работающих за год составляет $k/N + m + 1$ человек; а за весь срок службы объекта $k + N(m + 1)$ человек.

Следовательно,

$$T = T_{ж} [k + N(m + 1)]. \quad (\text{II-6})$$

Таким образом, суммарные затраты общественного труда в $k + N(m + 1)$ раз больше затрат живого труда.

Подставляя значение T из формулы (II-6) в зависимость (II-3), получаем

$$A_r = \frac{N Q_r}{[k + N(m + 1)] T_{ж}} = \frac{Q_r}{T_{ж}} \cdot \frac{N}{k + N(m + 1)}. \quad (\text{II-7})$$

* См.: К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., изд. 2, т. 24, с. 250.

** В. И. Ленин. Полн. собр. соч., изд. 5, т. 33, с. 359.

Уровень производительности труда можно определять с учетом различных масштабов производства.

Если оценивать производительность труда производства в определенной отрасли, то в текущие эксплуатационные затраты необходимо включать наряду с инструментом, электроэнергией стоимость сырья, заготовок и т. д. Стоимость материалов включает в себя затраты на живой и прошлый труд на всех предыдущих операциях, начиная с добывающей промышленности и металлургии. Поэтому в данном случае производительность труда оценивается при обработке изделия в целом.

Если необходимо оценить уровень производительности труда на данной операции обработки, а следовательно, прогрессивность машины, в текущих эксплуатационных затратах необходимо учитывать лишь издержки эксплуатации машины (инструмент, электроэнергия, ремонт станка и т. д.).

Таким образом, в зависимости от масштабов оценки производительности общественного труда числовая величина m в формуле может быть различной.

Возникает также задача определения уровня производительности труда на определенном рабочем месте, производительности труда обслуживающих рабочих. В этом случае затраты прошлого труда не учитываются и $k = 0$, $m = 0$.

В результате

$$A = Q_r / T_{ж} \cdot N / N = Q_r / T_{ж} = A_{ж}.$$

Полученная величина представляет собой уже производительность не общественного, а живого труда, т. е. выработку на одного производственного рабочего. Недостаточность этой характеристики, не отражающей труд, затраченный на создание средств производства и на обеспечение их работоспособности, совершенно очевидна.

Чем выше степень технической оснащенности (выше k и m), степень автоматизации производства, тем меньше рабочих занято непосредственно у машин и тем большее количество их находится «за ширмой», незримо. В этом заключается историческая тенденция развития техники в любой отрасли производства.

Эту закономерность сформулировал К. Маркс: «Повышение производительности труда заключается именно в том, что доля живого труда уменьшается, а доля прошлого труда увеличивается, но увеличивается таким образом, что общая сумма труда, заключающаяся в товаре, уменьшается, следовательно, таким образом, что количество живого труда уменьшается больше, чем увеличивается количество прошлого труда»*.

Автоматизация производственных процессов и является тем могучим средством, которое позволяет решать задачу повышения производительности труда.

Для оценки прогрессивности новой техники, в том числе автоматов и автоматических линий, необходимо по уровню производитель-

* К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. X IX, с. 280—281.

ности труда сравнить различные варианты. Затем сравнить внедряемый вариант с действующим в производстве (базовым вариантом) и дать заключение о целесообразности его внедрения.

Предпочтение следует отдать варианту, который обеспечивает наибольший рост производительности труда и гарантирует выполнение планируемых темпов ее роста на весь срок службы машины

$$\lambda = A_{T2}/A_{T1}, \quad (II-8)$$

где λ — коэффициент роста производительности труда при сравнении двух технических вариантов; A_{T1} — производительность труда, которую обеспечивает исходный вариант техники; A_{T2} — производительность труда второго, сравниваемого с исходным, варианта техники.

Сравнение различных вариантов техники позволяет определить их прогрессивность, оценить ее аналитически. Например, если существующая техника обеспечивает производительность труда $A_{T1} = 25$ шт./чел-ч, а новая техника $A_{T2} = 100$ шт./чел-ч, то

$$\lambda = A_{T2}/A_{T1} = 100/25 = 4,$$

т. е. внедрение новой техники обеспечивает рост производительности труда в четыре раза.

Производительность труда исходного варианта

$$A_{T1} = NQ_1/[k + N(m + 1)] T_{ж1}.$$

Если оба сравниваемых варианта вводятся в действие одновременно, то производительность труда второго варианта

$$A_{T2} = NQ_2/[k_2 + N(m_2 + 1)] T_{ж2}.$$

Рост производительности труда

$$\lambda = \frac{NQ_2[k + N(m + 1)] T_{ж1}}{[k_2 + N(m_2 + 1)] T_{ж2} NQ_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{T_{ж1}}{T_{ж2}} \cdot \frac{k + N(m + 1)}{k_2 + N(m_2 + 1)}. \quad (II-9)$$

Введем безразмерные коэффициенты, характеризующие сравнительные технико-экономические показатели обоих вариантов производства: $\varphi = Q_2/Q_1$ — коэффициент роста производительности средств производства, показывающий, во сколько раз повышается производительность при втором варианте по сравнению с исходным; $\epsilon = T_{ж1}/T_{ж2}$ — коэффициент сокращения живого труда, показывающий, во сколько раз сокращается живой труд при втором варианте по сравнению с исходным; $\sigma = T_{п2}/T_{п1}$ — коэффициент изменения стоимости средств производства; δ — коэффициент изменения текущих эксплуатационных затрат на единицу продукции.

$$T_{п2}/T_{п1} = \varphi\delta. \quad (II-10)$$

Величина текущих эксплуатационных расходов (инструмент, электроэнергия, вспомогательные материалы и др.) обычно пропорциональна выпуску продукции. Поэтому в формуле (II-10) коэффициент φ отражает изменение масштабов производства, а коэффициент δ — изменение текущих эксплуатационных затрат на единицу изделия.

Определим величины k_2 и m_2 через безразмерные коэффициенты:

$$k_2 = \frac{T_{п2}}{T_{ж2}} = \frac{T_{п1} \sigma}{T_{ж1} / \varepsilon} = \frac{T_{п1}}{T_{ж1}} \sigma \varepsilon = k \sigma \varepsilon;$$

$$m_2 = \frac{T_{в2}}{T_{ж2}} = \frac{T_{в1} \varphi \delta}{T_{ж1} / \varepsilon} = \frac{T_{в1}}{T_{ж1}} \varphi \delta \varepsilon = m \delta \varphi \varepsilon.$$

Подставляя значения k_2 и m_2 , а также φ и ε в формулу (II-9), получаем формулу, в которой рост производительности труда выражен непосредственно через сравнительные технико-экономические показатели обоих вариантов производства

$$\lambda = \varphi \varepsilon \frac{k + N(m+1)}{k \sigma \varepsilon + N(m \delta \varphi \varepsilon + 1)}. \quad (\text{II-11})$$

Проанализируем полученную зависимость графически.

На рис. II-6 приведены графики производительности труда во времени для двух проектируемых вариантов новой техники, например поточной и автоматической линии при условии, что оба варианта новой техники вводятся в действие одновременно и имеют одинаковые сроки службы.

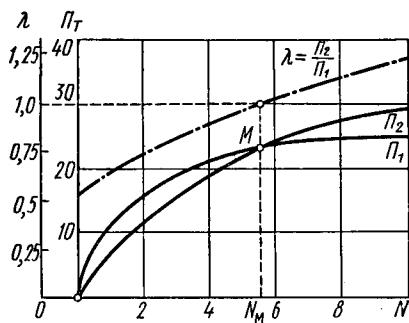


Рис. II-6. Рост производительности труда во времени при сравнении вариантов новой техники с одновременным вводом в эксплуатацию

Так как автоматическая линия более дорогая, чем поточная ($\sigma > 1$), то при малых сроках службы производительность общественного труда на поточной линии $A_{т1}$ выше, чем на автоматической $A_{т2}$, поэтому и коэффициент роста производительности труда меньше единицы. Однако автоматическая линия благодаря высокой производительности ($\varphi > 1$) и малому количеству обслуживающих рабочих ($\varepsilon > 1$) имеет более низкие эксплуатационные затраты при выпуске

продукции, поэтому при длительных сроках службы уровень производительности труда на автоматической линии выше ($\lambda > 1$). Следовательно, если сроки службы автоматической линии меньше некоторой минимальной величины ($N < N_m$), целесообразнее строить поточную линию, как более дешевую, несмотря на большие эксплуатационные расходы. И наоборот, автоматическая линия выгоднее, если предполагаемые сроки ее службы достаточно велики ($N > N_m$).

Нетрудно видеть, что в формуле (II-11) произведение $\varphi \varepsilon$ представляет собой рост производительности живого труда:

$$\lambda_{ж} = \varphi \varepsilon. \quad (\text{II-12})$$

Здесь φ характеризует увеличение производительности труда рабочего за счет роста производительности средств производства, а ε —

увеличение производительности труда рабочего за счет увеличения числа станков, обслуживаемых одним рабочим. Поэтому формула (II-11) получает вид

$$\lambda = \lambda_{\text{ж}} \frac{k + N(m + 1)}{k\sigma\epsilon + N(m\delta\varphi\epsilon + 1)}. \quad (\text{II-13})$$

Следовательно, рост производительности труда равен произведению роста производительности живого труда, т. е. зримого достигнутого результата, на коэффициент, показывающий, какими затратами прошлого труда достигнуто это увеличение. Разделив числитель и знаменатель в формуле (II-11) на ϵ , получим

$$\lambda = \varphi \frac{k + N(m + 1)}{k\sigma + N(m\delta\varphi + 1/\epsilon)}. \quad (\text{II-14})$$

Характерным для современного этапа развития техники, в первую очередь для автоматизации производственных процессов, является рост производительности средств производства ($\varphi > 1$), увеличение их стоимости ($\sigma > 1$) и сокращение числа людей, непосредственно занятых обслуживанием машин ($\epsilon > 1$). Изменение текущих затрат прошлого труда на единицу изделия зависит от характера производственного процесса и может находиться в широких пределах.

Теория производительности труда позволяет при сравнительном анализе различных вариантов новой техники обосновать наиболее выгодный и перспективный на основе комплексного учета всех технико-экономических показателей по наибольшей производительности общественного труда.

Выбор наиболее выгодного варианта новой техники, как показано выше (см. рис. II-6), зависит не только от сравнительных технико-экономических показателей (производительность, стоимость, количество обслуживающих рабочих и т. д.), но и от сроков эксплуатации новой техники, а также сроков ее проектирования и освоения. На практике сроки проектирования и освоения различных вариантов новой техники зачастую отличаются друг от друга, поэтому и сроки их ввода в эксплуатацию различны.

Например, на проектирование, изготовление и отладку автоматической линии уходит больше времени, чем на компоновку поточной линии из универсальных автоматов и полуавтоматов. Предположим, что такая автоматическая линия может быть введена в эксплуатацию на L лет позже, чем поточная; следовательно, срок ее службы ($N - L$) лет. Тогда производительность труда при эксплуатации автоматической линии

$$A_{\text{т2}} = \frac{Q_2}{T_{\text{ж2}}} \cdot \frac{N - L}{k_2 + (N - L)(m_2 + 1)}. \quad (\text{II-15})$$

Сравнивая производительность труда обоих вариантов новой техники в этом случае, получим

$$\lambda = \varphi \frac{N - L}{N} \cdot \frac{k + N(m + 1)}{k\sigma + (N - L)(m\delta\varphi + 1/\epsilon)}. \quad (\text{II-16})$$

Таким образом, теория производительности труда позволяет проводить сравнительный анализ различных предлагаемых вариантов новой техники по главному критерию — росту производительности труда с учетом фактора времени — сроков проектирования и освоения.

Для того чтобы определить прогрессивность и перспективность любого варианта новой техники, необходимо сравнить его по уровню производительности труда не только с другими технически возможными вариантами новой техники, но и с существующим производством, с той техникой, которая должна быть заменена.

Машина, которая внедрена и уже работает на протяжении R лет, к моменту времени $N = 0$ обеспечила уровень производительности труда $A_{т0}$:

$$A_{т0} = \frac{Q_r}{T_{жк}} \cdot \frac{R}{k + R(m + 1)} = \frac{A_{тж}}{k/R + m + 1}. \quad (II-17)$$

Если данная машина является характерной для отрасли, то она определяет средний уровень производительности общественного труда, достигнутый к настоящему времени.

На рис. II-7 показана диаграмма зависимости производительности труда при эксплуатации машины от сроков службы при условии,

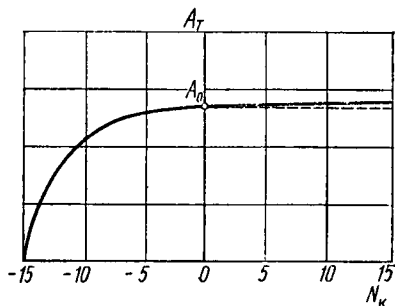


Рис. II-7. Производительность труда при эксплуатации техники, внедренной R лет назад

что она внедрена R лет тому назад ($R = 15$). К моменту, принятому за начало отсчета календарного времени ($N = 0$), она обеспечила уровень производительности труда $A_{т0}$. Если машина и дальше эксплуатируется в течение времени $N + R$, то производительность труда A_t будет несколько выше, но уже незначительно.

Так как целью расчета и анализа является определение целесообразности замены действующего оборудования, т. е. ограничение его сроков службы величиной R , производительность общественного

труда при внедрении возможных вариантов новой техники сравнивается с достигнутой величиной $A_{т0}$, от которой исчисляются и плановые темпы роста производительности труда.

Как правило, технический уровень и стоимость заменяемого оборудования невысоки, а сроки службы R достаточно продолжительны, поэтому для упрощения расчетов можно с малой погрешностью принимать $k/R = 0$. Тогда формула (II-17) упрощается и имеет вид

$$A_{т0} = \frac{Q_r}{T_{жк}} \cdot \frac{1}{m + 1}. \quad (II-18)$$

Рост производительности общественного труда при сравнении

новой техники с действующим оборудованием, которое определяет достигнутый уровень производительности труда,

$$\lambda = \frac{A_{T2}}{A_{T0}}; \quad A_{T2} = \frac{Q_{T2}}{T_{ж2}} \cdot \frac{1}{k_2/N + m_2 + 1}. \quad (\text{II-19})$$

Подставив в (II-19) значения A_{T2} и A_{T0} и проводя преобразования, получим

$$\lambda = \frac{\varphi \varepsilon (m + 1)}{k \sigma \varepsilon / N + m \sigma \varphi \varepsilon + 1}$$

или, разделив числитель и знаменатель на ε ,

$$\lambda = \frac{\varphi (m + 1)}{k \sigma / N + m \sigma \varphi + 1/\varepsilon}. \quad (\text{II-20})$$

В противоположность предыдущему случаю, когда производительность труда определялась из сравнения двух вариантов новой техники, которые только вводятся в эксплуатацию, здесь существующая техника за R лет достигла определенного, вполне конкретного уровня производительности труда A_{T0} , с которым должны сравниваться любые варианты новой техники.

На рис. II-8 показана диаграмма роста производительности труда во времени для различных вариантов производства при условии, что все взаимозаменяемые варианты, как новые, так и действующие, имеют сроки службы еще N лет.

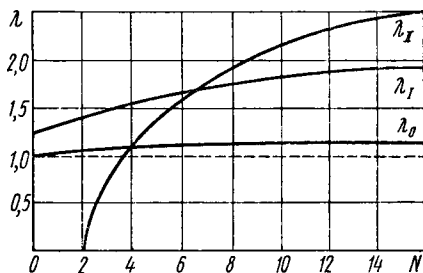


Рис. II-8. Рост производительности труда при сравнении действующего оборудования и новой техники

Кривая λ_I характеризует рост производительности труда лучшей существующей техники по сравнению со средним уровнем производства в настоящее время. Как видно, лучшая существующая техника обеспечивает более высокий уровень производительности труда, однако с удлинением сроков службы темпы роста постепенно замедляются. Не остается неизменной и производительность труда того варианта техники, который характеризует средний уровень производства A_{T0} , если это оборудование эксплуатируется еще N лет дополнительно к R годам (кривая λ_0).

Кривая λ_{II} (рис. II-8) показывает рост производительности труда новой техники, которая будет внедрена через $L = 2$ года. При малых сроках службы эта производительность труда ниже, чем у лучшей существующей техники и даже техники среднего уровня в настоящее время, однако при достаточно длительных сроках службы новая техника реализует свои возможности и обеспечивает значительные темпы роста производительности труда. Как видно, при увеличении сро-

ков службы производительность труда любого варианта производства, постепенно повышаясь, стремится к определенному пределу $\lambda_{\max}$. Величина $\lambda_{\max}$ определяется технико-экономическими показателями новой техники: ростом производительности, сокращением количества обслуживающих рабочих, экономичностью машин в эксплуатации. Если новая техника имеет низкий потенциал роста производительности труда, она не может быть прогрессивной.

§ 3. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА — ПУТИ АВТОМАТИЗАЦИИ

Как уже известно, теория производительности машин и труда позволяет количественно связывать экономические критерии: рост производительности общественного труда, сроки окупаемости и другие показатели с конкретными технико-экономическими показателями работы машин — их производительностью и надежностью в работе, стоимостью и экономичностью в эксплуатации, сроками службы и сроками проектирования и т. д. Это позволяет анализировать влияние различных факторов на производительность труда и не только оценивать конкретные технические решения, но и намечать наиболее эффективные пути повышения производительности труда, а следовательно, наиболее эффективные направления технического прогресса, пути автоматизации.

Автоматизация как основное направление технического прогресса связана с улучшением тех или иных технических характеристик, что сопровождается ростом производительности труда. Однако улучшение различных технико-экономических показателей оказывает неодинаковое влияние на производительность общественного труда. Количественный анализ формул, определяющих производительность труда, позволяет указать следующие основные пути повышения производительности труда при автоматизации производственных процессов.

Первый путь — уменьшение затрат живого труда $T_{\text{ж}}$ за счет сокращения числа рабочих, непосредственно занятых в процессе производства (путь ϵ). Оно достигается благодаря совершенствованию средств производства и управления, изменению организации труда и т. д., когда один рабочий получает возможность обслуживать одновременно несколько машин или благодаря внедрению вычислительной техники и иных современных средств выполнять работу, которую раньше выполняли при обслуживании системы машин ϵ человек.

Реализацию пути ϵ можно иллюстрировать следующим образом: за базу принята поточная линия, скомпонованная из станков, обслуживаемых операторами (рис. II-9, а). На первых стадиях автоматизации станки поточной линии оснащаются автоматическими загрузочно-разгрузочными устройствами (автооператорами), тем самым позиции переводятся из полуавтоматического режима работы в автоматический. Дальнейшая автоматизация связана с установкой автоматических транспортных механизмов для связи станков линии. Управление всем комплексом механизмов и узлов линии в соответствии с циклограммой осуществляется системой управления.

Таким образом, оснащение станков поточной линии автооператорами, введение автоматических транспортных устройств и системы управления позволяет создать автоматическую линию (рис. II-9, б). Такой путь автоматизации является одним из самых распространенных, так как позволяет использовать существующий парк машин, расширяя фронт автоматизации, сократить количество рабочих при обслуживании станков. Примерами реализации первого пути являются авто-

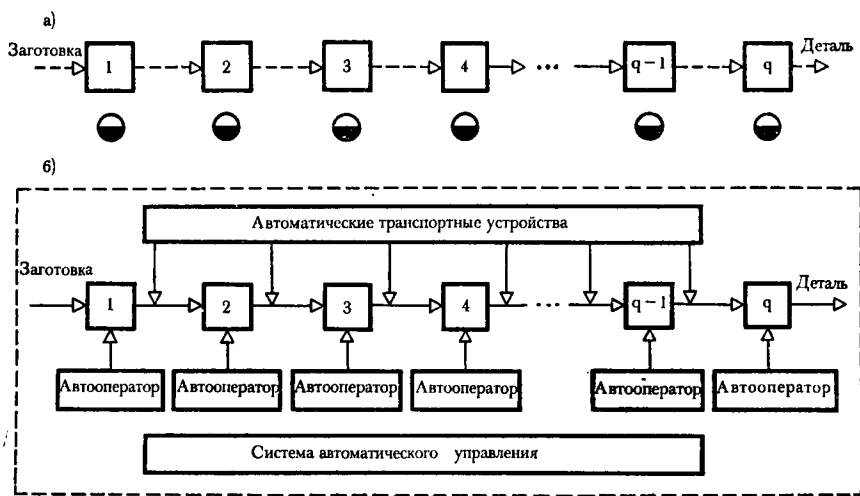


Рис. II-9. Технологические системы машин:

а — поточная линия с выполнением вспомогательных операций вручную; б — автоматическая линия

матические линии из типового (универсального) оборудования (см. гл. I, рис. I-14). Вместе с тем такой путь автоматизации имеет ограниченные возможности повышения производительности труда, так как при сохранении данного уровня производительности оборудования экономия живого труда имеет тенденцию к убыванию, что можно иллюстрировать следующим расчетом.

Как известно, при обслуживании неавтоматизированных машин рабочий осуществляет ручную управление последовательностью обработки и выполняет все вспомогательные операции (установку и съем заготовок, зажим и разжим их в шпинделе, подвод и отвод инструментов, контроль размеров обрабатываемых изделий, а также передачу заготовок от станка к станку, уборку стружки, переключение режимов обработки и т. д.). Естественно, что в условиях неавтоматизированного производства рабочий обслуживает, как правило, лишь один станок ($Z = 1$).

Предположим, что имеется участок из ста станков, которые обслуживают 100 рабочих. При автоматизации затраты живого труда в процессе обработки уменьшаются тем больше, чем выше степень автоматизации системы машин, когда один рабочий получает возможность

обслуживать не один, а большее количество станков ($Z > 1$). Если в поточной линии общие затраты живого труда при $Z = 1$ составляли $T_{\text{ж}}$, то при обслуживании рабочим-оператором Z станков и неизменной зарплате одного рабочего они составляют $T_{\text{ж}}/Z$. Следовательно, общая экономия живого труда рабочих операторов

$$\mathcal{E} = T_{\text{ж}} - T_{\text{ж}}/Z = T_{\text{ж}}(1 - 1/Z).$$

Если относить экономию к первоначальному фонду зарплаты, то

$$\Delta = \mathcal{E}/T_{\text{ж}} = 1 - 1/Z.$$

Автоматизация рабочего цикла машины, создание автоматов и полуавтоматов, оснащенных автоматической системой управления рабочими и холостыми ходами, позволяет ограничить обязанности рабочих-операторов смежной заготовок (на полуавтоматах), заправкой материала в механизмы, межстаночной транспортировкой. Это дает возможность одному рабочему обслужи-

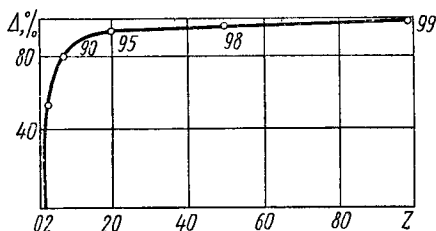


Рис. II-10. Зависимость экономии живого труда от количества станков, обслуживаемых одним рабочим

вать не один, а два-три станка и, следовательно, сократить количество обслуживающих рабочих и получить экономию зарплаты. Так, при обслуживании одним рабочим двух станков ($Z = 2$) экономия уже составляет 50% зарплаты обслуживающего персонала ($\mathcal{E}/T_{\text{ж}1} = 0,5$; рис. II-10).

Таким образом, автоматизация рабочего цикла станков (первая ступень автоматизации, см. гл. I), которая достигается иногда простейшими техническими средствами и с минимальными затратами, позволяет сэкономить значительную часть трудовых затрат, необходимых в условиях неавтоматизированного производства. Путем дальнейших усовершенствований (оснащения полуавтоматов механизмами автоматической загрузки, контроля, улучшением системы эксплуатации и т. д.) можно достигнуть того, что один рабочий будет обслуживать в поточной линии $Z = 4—5$ станков, и экономия трудовых затрат и заработной платы увеличится еще больше, однако, как показывает рис. II-10, эта экономия не будет пропорциональна количеству станков, обслуживаемых одним рабочим. Если увеличение Z в два раза (от 1 до 2) позволяет сэкономить 50% фонда зарплаты, то увеличение Z в 2,5 раза (от 2 до 5) дает возможность сэкономить только 40%.

Дальнейшая экономия затрат живого труда возможна только путем создания автоматических линий, т. е. автоматизацией межстаночной транспортировки заготовок и накопления заделов, созданием новых систем управления, сигнализации и блокировки, механизмов автоматического контроля и подналадки, уборки стружки и т. д. При этом, если технологические процессы остаются прежними, то и про-

изводительность машин сохраняется на достигнутом уровне, а автоматизация позволяет лишь увеличивать число станков, обслуживаемых одним рабочим. Если при переходе от обслуживания одной машины к двум можно простейшими средствами сэкономить 50% зарплаты, то при переходе от 50 к 100 станкам только 1%.

Однако создание автоматических систем из 50 или 100 станков, которые обслуживаются одним рабочим, требует решения целого ряда сложнейших технических проблем с использованием всех новейших технических средств автоматизации с огромными затратами сил, средств и времени. Таким образом, с увеличением степени автоматизации системы машин технические трудности и затраты прогрессивно растут, а экономия трудовых затрат снижается. Следует отметить при этом, что всегда $\epsilon < Z$, потому что автоматизация приводит к уменьшению количества рабочих-операторов, но не наладчиков, численность которых, как правило, возрастает особенно при низких показателях надежности оборудования (см. гл. IV). Автоматизация с целью сокращения затрат ручного труда может быть эффективной прежде всего в отраслях с низкой технической оснащенностью (малым значением k), где еще велики затраты живого труда, а следовательно, и резервы экономии этих затрат. Создание автоматических линий на базе существующего поточного производства, где один рабочий и без автоматизации обслуживает два-три станка, если эти линии опираются на существующие технологические процессы и имеют цель только сокращение числа рабочих-операторов и подсобных рабочих, — малоэффективно.

Таким образом, автоматизация с целью многостаночного обслуживания выгодна и позволяет создавать автоматические системы машин в кратчайшие сроки лишь в тех случаях, когда она не требует больших дополнительных затрат сил, средств и времени, благодаря применению унифицированных средств автоматизации.

В т о р о й п у т ь повышения производительности труда — сокращение затрат прошлого труда за счет снижения стоимости средств производства (путь $\sigma < 1$). Этот путь связан с совершенствованием технологии производства самих средств производства, стандартизацией и унификацией механизмов, узлов и деталей машин, обеспечивающих снижение их себестоимости. Для этого пути характерно развитие агрегатного станкостроения, поточных методов производства новых машин, а также унифицированных средств автоматизации (см. гл. I, рис. I-10). Важнейшей задачей является создание универсальных встраиваемых станков, пригодных как для самостоятельной эксплуатации, так и для встраивания в автоматические линии. Такие станки в большом количестве могут использоваться в автоматических линиях различного технологического назначения, что позволяет наладить их выпуск в больших масштабах, применяя поточные методы производства, создавая стабильные конструкции, надежные в эксплуатации.

Если на первых этапах автоматизации унифицированными элементами являлись узлы и механизмы, из которых komponуются станки различного технологического назначения, то теперь элементами компо-

новки служат уже встраиваемые станки и унифицированные транспортные средства, что позволяет создавать автоматические линии с меньшими затратами в кратчайшие сроки. Унификация и стандартизация оборудования позволяет не только уменьшить стоимость оборудования, но и значительно сократить сроки его проектирования и освоения и тем самым повысить производительность общественного труда.

На рис. II-11 показаны построенные по формуле (II-16) графики роста производительности общественного труда при сравнении двух

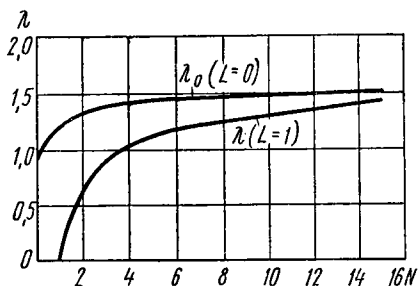


Рис. II-11. Рост производительности труда во времени при автоматизации путем создания специального λ ($L=1$) и унифицированного оборудования λ ($L=0$)

вариантов новой техники — поточного и автоматизированного производства. Если автоматическая линия создается из нормализованных узлов, то благодаря относительно малой стоимости и малым срокам проектирования (сопоставимым со сроками поставки универсальных станков) такая линия быстро окупается и дает значительный рост производительности труда (кривая $L=0$). Если линия проектируется заново и сроки ввода в эксплуатацию удлиняются хотя бы на год с неизбежным увеличением стоимости ($\sigma > \sigma_{\text{норм}}$, кривая $L=1$), эффективность автоматизации значительно ниже.

Оценивая перспективность второго пути повышения производительности труда, следует учитывать неодинаковые реальные возможности улучшения характеристик ϵ и σ . Если новые автоматические линии, оснащенные современными средствами автоматизации, позволяют сократить число обслуживающих рабочих в несколько раз ($\epsilon = 3-5$), то сократить стоимость новой техники во столько же раз практически невозможно. Проектирование, изготовление, монтаж и отладка новых машин являются сложными процессами; каждый процент снижения заводской себестоимости новой машины является достижением. Так, по данным станкозавода им. Орджоникидзе, применение нормализованных узлов, создание агрегатных станков из нормализованных элементов позволяет снизить стоимость станков не более чем на 30%, т. е. $\sigma = 0,7$.

Третий путь повышения производительности труда — сокращение затрат живого и прошлого труда за счет повышения производительности средств производства, а следовательно, сокращения трудовых затрат на единицу изделия (путь $\phi > 1$). Это достигается путем разработки новых прогрессивных технологических процессов и создания высокопроизводительных средств производства.

В истории техники известно немало примеров, когда уровень существующего производства исчерпывал свои возможности, и это неизбежно вызывало появление новых методов производства, новой

технологии и новых высокопроизводительных средств производства.

Коренная ломка старых, привычных методов производства, рождение и развитие новых прогрессивных технологических процессов и высокопроизводительных средств производства — радикальный путь повышения производительности труда.

На рис. II-12 приведены построенные по формуле (II-14) графики зависимости производительности труда λ от роста производительности средств производства φ и степени сокращения живого труда ε . Кривая 1 показывает рост производительности труда в результате блокирования машин в автоматическую систему при неизменном уровне производительности машин ($\varphi=1$) и без учета затрат на автоматизацию ($\sigma=1$). При такой автоматизации единственным источником экономии является сокращение требуемого фонда зарплаты производственных рабочих. Кривая 1' построена с учетом неизбежного прогрессивного роста стоимости таких автоматических линий и некоторого снижения их производительности ($\varphi<1$; $\sigma>1$) в результате блокирования все большего количества машин в автоматическую систему (см. гл. III). В результате производительность общественного труда на сложных, технически совершенных автоматических линиях, оснащенных всем арсеналом средств современной автоматики, электроники и т. д. может оказаться ниже, чем на поточных линиях. Заштрихованная область (рис. II-12) означает потери производительности труда из-за указанных факторов, которые особенно значительны для автоматических линий сложной конструкции.

Кривые 2 и 2' показывают рост производительности труда при автоматизации, сочетающей рост производительности машин ($\varphi>1$) и сокращение затрат живого труда ($\varepsilon>1$). Как видно, и здесь существуют потери производительности труда по тем же причинам, однако потенциал роста производительности труда настолько высок, что автоматизация является эффективной. Одной из важнейших характеристик новой техники является максимальный уровень роста производительности труда по сравнению с достигнутой данной отраслью к моменту ввода новой техники в эксплуатацию.

Как показывают графики (рис. II-8), рост производительности труда при увеличении сроков службы N стремится к некоторому пределу $\lambda_{\max}$:

$$\lambda_{\max} = \lim_{N \rightarrow \infty} \lambda = \lim_{N \rightarrow \infty} \varphi \varepsilon \frac{k + N(m+1)}{k\sigma\varepsilon + N(m\varphi\varepsilon + 1)} = \frac{\varphi\varepsilon(m+1)}{m\varepsilon\varphi + 1} \quad (\text{II-21})$$

Как видно, максимальный уровень повышения производительности

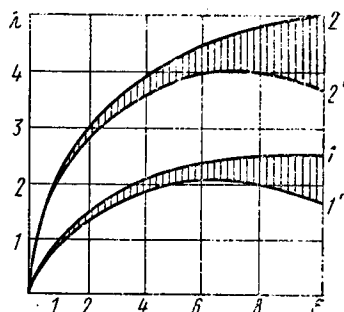


Рис. II-12. Рост производительности труда при автоматизации благодаря сокращению количества обслуживающих рабочих ε и повышению производительности оборудования φ

труда при внедрении новой техники зависит только от сравнительных технико-экономических показателей работы машины (φ , ε , δ) и не зависит от ее стоимости, сроков ввода в эксплуатацию и т. д.

Если эти показатели новой техники оказываются низкими, новая техника не может быть прогрессивной. На рис. II-13 показана зависи-

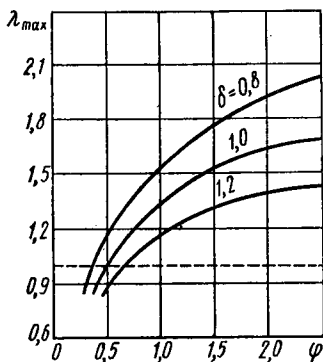


Рис. II-13. Зависимость максимального роста производительности труда от производительности машин и их экономичности в эксплуатации

мость $\lambda_{\max}$ от роста производительности машин, откуда видно, что высокий уровень производительности труда для новой техники можно обеспечить только в том случае, когда производительность новой техники значительно выше, чем у существующей.

Таким образом, генеральным направлением автоматизации является разработка новых, прогрессивных технологических процессов и создание таких высокопроизводительных средств производства, которые вообще невозможны, пока человек остается непосредственным участником выполнения технологического процесса.

§ 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПРОГРЕССИВНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНИКИ

Лучшие варианты проектируемых машин, автоматических линий, цехов и заводов, в том числе с обоснованием целесообразного уровня автоматизации, определяется путем различных инженерных решений. Современные технические науки являются фундаментом при проектировании машин и определении их параметров на основе расчетов: кинематических, прочностных, динамических, на виброустойчивость, долговечность, надежность и др. Однако при этом еще неизвестно, насколько данная выбранная или проектируемая машина экономически будет эффективной. Машина, удовлетворяющая всем техническим требованиям, может оказаться не эффективной и не прогрессивной, так как конструктивная сложность и затраты на ее создание даже при минимуме эксплуатационных затрат не обеспечат требуемого уровня экономии труда за срок ее службы по сравнению с существующей техникой.

Методы определения экономической эффективности капитальных вложений в условиях социалистического способа производства являются «точнейшими весами», позволяющими строго взвешивать и безошибочно определять экономически эффективные и прогрессивные варианты решений.

Технический прогресс и экономическая эффективность производства — это две неразрывно связанные взаимообуславливающие проблемы, которые не могут быть решены изолированно, обособленно друг от друга. Успешное их решение является результатом поиска технических и экономических наук.

Важнейшим критерием экономической эффективности капиталовложений в социалистическом обществе является рост производительности труда, достигаемый в результате внедрения новой техники.

Расчеты сравнительной экономической эффективности капитальных вложений применяются при сопоставлении различных вариантов хозяйственных и технических решений, размещения предприятий и их комплексов, при решении задач по выбору взаимозаменяемой продукции, внедрению новых видов техники и т. д.

Целью инженерных методов сравнительной оценки экономической эффективности и прогрессивности новой техники является не только подсчет чисто экономических показателей, а выбор таких параметров проектируемых машин, которые являются экономически оптимальными и обеспечивают наибольший экономический эффект внедрения новой техники.

Математической основой инженерных методов оценки экономической эффективности капитальных вложений являются аналитические зависимости, выражающие критерии экономической эффективности как через денежные величины, так и непосредственно через технико-экономические показатели сравниваемых вариантов новой техники (φ , σ , ε , δ).

Научной основой инженерных методов оценки экономической эффективности и прогрессивности новой техники является теория производительности машин и труда.

При решении инженерных задач расчета, проектирования и эксплуатации новой техники с позиций экономической эффективности основу расчета и оценки составляет сравнение показателей двух или более вариантов технических решений, один из которых принимается за исходный, базовый. Необходимым является не оценка абсолютных экономических показателей по величине, что составляет самостоятельную задачу конкретной экономики, а прежде всего достоверный выбор наилучшего варианта из числа конкурирующих технических решений. Поэтому все расчеты, связанные с оценкой экономической эффективности, являются сравнительными, а применяемые критерии экономической эффективности (снижение себестоимости, сроки окупаемости, эффективность капиталовложений и др.) лишь определяют характер экономической выгодности сравниваемых вариантов.

В основу расчетов экономической эффективности капиталовложений и новой техники положено сравнение для технически возможных вариантов величины капитальных затрат K_i , годовых эксплуатационных затрат I_i или себестоимости выпускаемой продукции C_i , которые принято выражать в денежной форме.

При этом годовые эксплуатационные затраты отличаются от себестоимости годового выпуска на величину годовых амортизационных отчислений для восстановления стоимости оборудования

$$C_i = I_i + K_i \alpha,$$

где C_i — себестоимость годового выпуска продукции; I_i — годовые эксплуатационные затраты на содержание оборудования, включающие расходы на ремонт и межремонтное обслуживание, инструмент

и электроэнергию, зарплату операторов и наладчиков и др.: K_i — стоимость оборудования, зданий, сооружений (капитальные затраты); α — нормативный коэффициент амортизации.

При выборе вариантов технических решений по критериям экономической эффективности в качестве базового, исходного, варианта принимается обычно наиболее дешевый и технически менее совершенный вариант, который служит как бы гирей, по отношению к

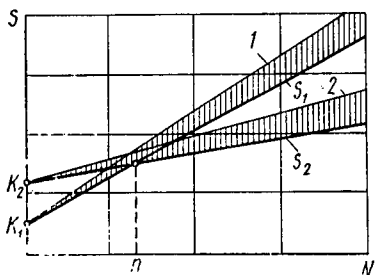


Рис. II-14. Типовая диаграмма суммарных затрат на выпуск продукции для поточной и автоматической линии

которому оцениваются остальные конкурирующие варианты. Поэтому при оценке целесообразности степени автоматизации в качестве исходного варианта целесообразно выбирать станки, поточные линии, действующее оборудование, а в качестве конкурирующих — полуавтоматы, автоматы, автоматические линии.

Обычно такой базовый вариант характеризуется минимальными технологическими необходимыми капитальными затратами ($K_1 = K_{\min}$), без вложения которых само производство (производство подшипников, автомобилей, радиоприемников и др.) является

либо невозможным, либо явно бессмысленным (например, изготовить вручную автомобиль).

Так как в условиях социалистической экономики создание производственных мощностей для выпуска той или иной продукции определяется не конъюнктурой, а народнохозяйственной потребностью и является плановым, вопрос о целесообразности или нецелесообразности минимальных капиталовложений $K_{\min}$ обычно не возникает. В случае необходимости такая оценка может быть сделана путем сопоставления этих капиталовложений с годовой прибылью от их вложения за счет разности между ценой выпущенной продукции и себестоимостью ее изготовления.

Как отмечалось выше (см. § 2), типовыми условиями автоматизации является создание более сложного и дорогого оборудования ($K_2 > K_{\min}$) для снижения эксплуатационных затрат или себестоимости продукции по сравнению с базовым вариантом ($I_2 < I_1$), ($C_2 < C_1$). Типовая диаграмма суммарных затрат S_i по двум сравниваемым вариантам приведена на рис. II-14. Здесь

$$S_1 = K_1 + NI_1; \quad S_2 = K_2 + NI_2.$$

На этой же диаграмме показаны для обоих вариантов величины суммарных значений $K_i + NC_i$ (линии 1 и 2); заштрихованные зоны означают для обоих вариантов в каждый момент эксплуатации общую сумму амортизационных отчислений за N лет, которые не являются эксплуатационными затратами.

При этом все сравниваемые варианты приводятся к одному уравнению производительности (единому масштабу затрат на единицу

продукции). В том случае, если $K_2 < K_1$ и $I_2 < I_1$, т. е. один из вариантов требует меньших и капитальных, и эксплуатационных затрат, проблемы целесообразности выбора варианта не возникает — второй вариант будет эффективным по любым критериям, что ясно без всяких расчетов.

Аналогично, если внедрение нового, более дорогого варианта ($K_2 > K_1$) может привести к увеличению и эксплуатационных затрат ($I_2 > I_1$), так же не требуется каких-либо специальных расчетов — такой вариант явно нецелесообразен.

Типовым для выбора целесообразного варианта автоматизации является случай, когда вместо минимально возможных затрат K_1 , например на создание поточной линии, расходуются большие средства $K_2 > K_1$, которые окупаются в процессе эксплуатации автоматической линии за счет снижения эксплуатационных затрат ($I_2 < I_1$) таким образом, чтобы к концу сроков службы иметь итоговую экономию на суммарных затратах

$$\Delta S = S_1 - S_2 > 0.$$

В этом случае выбор технического варианта производится путем специальных расчетов, с помощью критериев экономической эффективности.

Все официальные критерии сравнительной эффективности капиталовложений и новой техники основаны на сопоставлении между собой величин $K_1, K_2; I_1, I_2$ (или C_1, C_2) в различных комбинациях.

Так, например, срок окупаемости дополнительных капиталовложений

$$n = (K_2 - K_1) / (I_1 - I_2). \quad (II-22)$$

Коэффициент эффективности капиталовложений

$$E = (I_1 - I_2) / (K_2 - K_1), \quad (II-23)$$

На практике вместо величины эксплуатационных затрат обычно используют и показатели себестоимости выпускаемой продукции C_1 и C_2 , что облегчает расчеты, так как данные по себестоимости выпускаемой продукции являются наиболее употребительными, а следовательно, и известными в любом производстве. В этом случае формулы (II-22) и (II-23) приобретают вид

$$n = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2); \quad (II-24)$$

$$E = (C_1 - C_2) / (K_2 - K_1). \quad (II-25)$$

Следует отметить, однако, что использование этих формул дает ощутимые погрешности. Так, например, срок окупаемости — это тот срок эксплуатации, в течение которого первоначальный перерасход на капиталовложениях $K_2 - K_1$ полностью компенсируется за счет экономии на текущих затратах, т. е. суммарные затраты по сравниваемым вариантам уравниваются и при $N = n$, $\Delta S = S_2 - S_1 = 0$ (см. рис. II-14),

$$\Delta S = K_1 + nI_1 - (K_2 + nI_2) = 0.$$

$$n = (K_2 - K_1)/(I_1 - I_2).$$

Однако известно, что любые капиталовложения возвращаются благодаря амортизационным отчислениям $K_1\alpha$, которые при формулировании себестоимости прибавляются к действительным эксплуатационным затратам. Поэтому даже при условии $C_1 = C_2$ дополнительные капиталовложения возвращаются через амортизационные отчисления за срок, обратный нормативному коэффициенту амортизации (на восстановление стоимости) $N_a = 1/\alpha$. Однако согласно формуле (II-24) в этом случае ($C_1 = C_2$) новая техника независимо от сроков службы $N \leq N_a$ считается некупаемой ($n = \infty$), что принципиально неверно. Тем не менее подмена величины I_1 величиной C_1 является весьма распространенной.

Выбор наивыгоднейшего варианта новой техники заключается в том, что полученные ожидаемые значения n , E и т. д. сравнивают с нормативными. Так, если сроки окупаемости ожидаются меньше нормативных, автоматизация признается целесообразной и экономически выгодной.

В настоящее время в качестве основного критерия экономической эффективности принят минимум приведенных затрат по сравниваемым вариантам, который определяется по формуле

$$C_{\text{пн}} = K_1 E_n + C_1 = \min, \quad (\text{II-26})$$

где E_n — нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений.

Из всех сравниваемых вариантов наиболее эффективным признается такой, для которого приведенные затраты ожидаются минимальными. Критерием экономической эффективности новой техники является и производительность общественного труда. Если привести оба варианта к единому масштабу выпуска ($\varphi = 1$) и выразить трудовые затраты в денежной форме за срок службы, коэффициент роста производительности труда

$$\lambda = (K_1 + N I_1)/(K_2 + N I_2) = S_1/S_2. \quad (\text{II-27})$$

Прирост производительности труда за срок службы

$$\Delta\lambda = \lambda - 1 = (S_1 - S_2)/S_2 = \Delta S/S_2.$$

Среднегодовой прирост производительности труда как функция сроков службы

$$e = \Delta\lambda/N = \Delta S/(N S_2).$$

Величина e представляет собой коэффициент эффективности суммарных, а не только капитальных затрат, являясь функцией сроков службы; она имеет экстремальный характер (рис. II-15).

С понятием экономической эффективности новой техники тесно связано понятие о ее прогрессивности. Прогрессивность новой техники определяется соответствием ее главному целевому назначению.

В социалистическом обществе главным целевым назначением новой техники является повышение производительности и облегчение условий труда. При этом прогрессивной является не всякая техника, обеспечивающая рост производительности труда, а только такая, которая соответствует научно обоснованным заданным темпам его повышения и при этом облегчает труд человека. На основе сложившихся представлений критерий прогрессивности новой техники отражает следующие показатели:

1) рост производительности общественного труда;
2) постоянный рост требований к новой технике на основе объективных законов развития производительных сил. Чем позже вводится в эксплуатацию новая машина, тем менее она прогрессивна при тех же технических характеристиках;

3) фактор времени. Любая самая совершенная конструкция сегодняшнего дня, если сроки ее проектирования и освоения затягиваются, неизбежно оказывается морально устаревшей при проектировании. Любая прогрессивная техника в процессе эксплуатации не может оставаться прогрессивной вечно и морально стареет;

4) высокую эффективность капиталовложений на создание и внедрение новой техники.

Реальная экономическая эффективность новой техники часто определяется факторами, не связанными с ее техническим совершенством, например недостаточным использованием по производительности, затянувшимися сроками ввода в эксплуатацию, низким уровнем обслуживания и т. д. В результате самая совершенная и прогрессивная новая техника в каких-то условиях производства может оказаться экономически неэффективной. Поэтому прогрессивность новой техники оценивается независимо от возможных организационных неувязок, при полном использовании заложенных в ней возможностей. При соблюдении этих условий прогрессивная новая техника должна обязательно иметь высокую экономическую эффективность.

Критерием прогрессивности новой техники является соответствие фактических темпов роста производительности труда плановым, которые должны быть научно обоснованными, прогнозируемыми.

Имея единое начало отсчета по времени, на одном графике можно сравнивать фактические и плановые темпы роста производительности труда исходя из единой основы — достигнутого уровня. При этом нетрудно заметить, что фактические темпы роста производительности труда при длительных сроках службы постепенно снижаются (см. рис. II-8). Следовательно, как бы ни были высоки фактические тем-

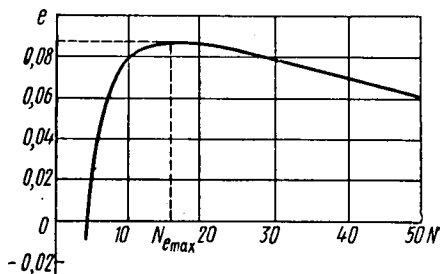


Рис. II-15. Зависимость коэффициента эффективности суммарных затрат от сроков службы

пы роста производительности труда, они неизбежно оказываются ниже плановых.

Приведенная на рис. II-16 диаграмма показывает зависимость прогрессивности новой техники от сроков ввода ее в эксплуатацию. Кривые фактического роста производительности труда $\lambda = f(N)$ рассчитаны по формуле (II-16), плановые темпы роста приняты постоянными

$$\lambda_{пл} = 1 + \Delta\lambda N.$$

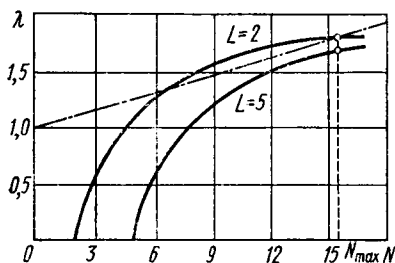


Рис. II-16. Прогрессивность новой техники при различных сроках освоения и службы

Если машина вводится в действие через два года после момента, принятого за начало отсчета, она становится прогрессивной, если сроки службы не превышают $N_{\max}$. Однако если машина вводится через пять лет ($L = 5$), то она перестает быть прогрессивной.

Таким образом, по критерию эффективности капиталовложений, несмотря на задержку с проектированием и освоением, машина может считаться экономически эффективной, хотя она за этот период морально

устаревает при проектировании. Высокая эффективность капиталовложений является необходимым, но недостаточным условием прогрессивности новой техники. Критерий прогрессивности более полно учитывает фактор времени и, как правило, отражает более высокий уровень требований к новой технике, чем критерии эффективности капиталовложений, не исключая, а дополняя их.

§ 5. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

При проектировании машин существует четкое различие проектных и поверочных расчетов по времени и методике выполнения.

Проектные расчеты выполняют на различных стадиях создания машин; их основная задача — правильный выбор числовых значений технологических, конструктивных, структурных и других параметров машины исходя из обеспечения ее заданных выходных параметров (мощности, быстроходности, прочности, производительности, долговечности и надежности в работе и др.). Например, проектные расчеты на прочность позволяют исходя из обеспечения допустимых внутренних напряжений выбирать диаметры валов, толщину стенок, модуль и ширину шестерен, сечения шпонок и т. д. Аналогично проектные кинематические расчеты позволяют исходя из обеспечения заданных скоростей перемещения целевых механизмов

(шпинделей, суппортов и др.) выбирать передаточные отношения, числа зубьев шестерен и др.

Проектные расчеты позволяют решать исходя из заданных технологических, кинематических, прочностных и других характеристик те задачи расчета и конструирования, которые нельзя не решать в процессе создания машины.

Поверочные расчеты выполняются тогда, когда все необходимые параметры машин уже выбраны и необходимо лишь проверить, отвечают ли они заданной целевой функции, правильно ли сделан их выбор. Так, поверочные расчеты на прочность позволяют оценить соответствие в спроектированной конструкции внутренних напряжений допустимым, вращение шпинделя с нужной частотой, перемещение суппорта с заданной величиной подачи и т. д.

Таким образом, проектные и поверочные расчеты принципиально различны прежде всего по входным и выходным параметрам расчетов. В проектных расчетах входными параметрами являются детерминированные (нормированные) значения целевой функции, выходными — конкретные характеристики проектируемых машин. В поверочных расчетах, наоборот, входными параметрами являются конкретные характеристики уже спроектированных машин, выходными — значения целевой функции, которые сравниваются при этом с нормированными. Разумеется, принципиально различными являются и математические расчетные зависимости. В простейших благоприятных случаях это могут быть одни и те же математические модели взаимосвязи, решаемые в прямом и обратном направлениях, когда функция становится аргументом и наоборот.

Это полностью относится и к технико-экономическим расчетам при проектировании и эксплуатации автоматизированного оборудования. По существу, критерий заданной экономической эффективности машин эквивалентен критериям обеспечения заданных прочностных, кинематических и других характеристик.

Различие заключается лишь в том, что по прочностным, кинематическим, динамическим критериям выбираются параметры главным образом элементов систем — механизмов и устройств для выполнения рабочих и холостых ходов, привода и управления. По экономическим критериям решаются прежде всего задачи синтеза, выбора принципиальных решений технических систем в целом — их структуры, конструктивной компоновки и т. д.

Поэтому, как отмечалось выше (см. § 4), инженерные методы расчета и оценки экономической эффективности новой техники — это методы расчета и конструирования машин и систем машин, выбора их технологических, конструктивных, структурных параметров по экономическим критериям.

Согласно общим принципам методологии выполнения инженерных расчетов при создании машин проектные технико-экономические расчеты имеют своей задачей обоснование выбора тех конкретных технических параметров, которые необходимо выбирать в процессе про-

ектирования. Такими параметрами для автоматических линий являются, например число последовательно работающих станков и параллельных потоков обработки, участков-секций с межоперационными накопителями, тип компоновочной схемы и т. д. (см. ниже гл. IX). Иначе, при расчете технико-экономической эффективности на проектной стадии должны быть в качестве результатов те показатели, которые и являются задачей проектирования. Для этого необходимо иметь математические модели взаимосвязи показателей экономической эффективности с конкретными технико-экономическими параметрами, решаемые как бы наоборот — от заданной эффективности к требуемым параметрам. Такие модели строятся на основе положений теории производительности машин и труда (см. § 2).

Поверочные расчеты технико-экономической эффективности автоматизации производят тогда, когда система уже спроектирована или внедрена, принципиальный вариант построения и все его параметры выбраны теми или иными путями (в том числе — без всяких экономических расчетов). На этом этапе нужно определить лишь, удовлетворяют ли экономические показатели спроектированной системы допустимым, нормативным значениям (допустимые сроки окупаемости, положительный экономический эффект и т. д.). Такие расчеты используют, например, при решении вопросов тиражирования данной системы и др.

Здесь изучение вопросов взаимосвязи технических и экономических параметров уже не является необходимым, так как любые результаты эффективности внедрения наиболее просто рассчитывают через чисто экономические стоимостные показатели (капиталовложения и эксплуатационные затраты по всем сравниваемым вариантам).

Нетрудно видеть, что обычно применяемые типовые методы оценки экономической эффективности капиталовложений по своей методологии являются поверочными, так как расчетные формулы не содержат каких-либо технических характеристик, а итогом расчета являются показатели экономической эффективности, которые сравниваются с допустимыми.

Между тем задача технико-экономических расчетов на проектной стадии, как отмечалось выше, состоит именно в том, чтобы рассчитать конкретные требования к параметрам проектируемых машин — систему «технико-экономических допусков» для того, чтобы проектируемая система могла быть эффективной.

Экономическая эффективность новой техники, в том числе автоматизированного оборудования, обеспечивается путем улучшения тех или иных технических показателей, из которых важнейшим является фактор повышения производительности. Поэтому простейшей реализацией проектных технико-экономических расчетов являются расчеты требуемого повышения производительности исходя из обеспечения заданных показателей экономической эффективности. В случае необходимости от определения требуемой величины производительности далее можно перейти к определению требуемой величины более конкретных характеристик (показатели надежности, режимы обработки, стойкость инструмента, быстродействие механизмов и т. д.).

Так как на проектной стадии числовые значения определяющих параметров известны лишь ориентировочно, проектные технико-экономические расчеты могут и должны носить приближенный характер, что во многих случаях позволяет значительно их упростить.

Рассмотрим математические модели таких расчетов. Базовый вариант производства, например поточная линия, имеет характеристики: стоимость K (руб.), годовой фонд зарплаты обслуживающих рабочих $З$ (руб.), годовые затраты на инструмент, электроэнергию, вспомогательные материалы и т. д. — m (руб.), годовой выпуск продукции (производительность) Q_r .

Остальные показатели стоимости являются зависимыми от основных. Так, годовые амортизационные отчисления составляют $K\alpha_1$, где α_1 — нормативный коэффициент амортизации; годовые затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание также в первом приближении можно принять пропорциональными стоимости с коэффициентом $\alpha_2(K\alpha_2$ за год).

Тогда себестоимость годового выпуска продукции при базовом варианте

$$C_1 = K(\alpha_1 + \alpha_2) + m + З. \quad (II-28)$$

Числовые значения этих показателей можно определить с достаточной степенью достоверности, если такая система спроектирована и функционирует.

Второй, сравниваемый вариант производства является искомым. Его характеристики должны быть определены в процессе расчета исходя из обеспечения гарантированного экономического эффекта через сравнительные технико-экономические показатели (ϕ , σ , ϵ , δ), которые на данном этапе выступают в качестве варьируемых, «управляемых» величин.

Стоимость искомого варианта согласно приведенным выше (см. § 3) категориям в σ раз выше — $K\sigma$ руб.

Количество обслуживающих рабочих в ϵ раз меньше, следовательно, фонд зарплаты за год $З/\epsilon$ руб.

Производительность (в шт.) в ϕ раз выше и составляет в год $Q_r\phi$. Годовые затраты на эксплуатацию (ремонт и обслуживание, инструмент и электроэнергия, вспомогательные материалы и др.) принимаем по общей формуле (II-10) пропорциональными выпуску продукции и степени экономичности работы машины ($m_2 = m\delta\phi$), что допустимо при теоретических исследованиях развития технического прогресса, путей и перспектив автоматизации (см. § 3).

В прикладных расчетах при сравнении конкретных конструкций и компоновок машин такое допущение является неправомерным. Более правильно затраты на ремонт и обслуживание принимать пропорциональными увеличению стоимости σ , а затраты на инструмент, электроэнергию и др. — пропорциональными выпуску ϕ с учетом экономичности новых технологических процессов. Тогда годовые эксплуатационные затраты при искомом варианте

$$C_p = K\sigma\alpha_1 + K\sigma\alpha_2 + m\delta\phi + З/\epsilon. \quad (II-29)$$

Для сравнения обоих вариантов по любому критерию экономической эффективности, например минимуму приведенных затрат, необходимо привести оба варианта к сопоставимому масштабу выпуска изделий, т. е. увеличить все затраты базового варианта в φ раз.

Тогда приведенные затраты по базовому варианту

$$C_{n1} = \varphi (KE_n + C_1) = \varphi [K(E_n + \alpha_1 + \alpha_2) + m + 3]. \quad (\text{II-30})$$

Приведенные затраты по искомому проектируемому варианту

$$C_{n2} = KE_n + C_2 = K\sigma(E_n + \alpha_1 + \alpha_2) + m\delta\varphi + 3/\epsilon. \quad (\text{II-31})$$

Годовой экономический эффект определяется как разность приведенных затрат

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = C_{n1} - C_{n2} &= \varphi [K(E_n + \alpha_1 + \alpha_2) + m + 3] - [K\sigma(E_n + \alpha_1 + \alpha_2) + \\ &+ m\delta\varphi + 3/\epsilon] = K(\varphi - \sigma)(E_n + \alpha_1 + \alpha_2) + m\varphi(1 - \delta) + \\ &+ 3(\varphi - 1/\epsilon). \end{aligned} \quad (\text{II-32})$$

Очевидно, чем выше рост производительности оборудования при проектируемом варианте производства по сравнению с базовым φ , тем выше годовой экономический эффект $\mathcal{E}$, и наоборот. Как известно, предельным допустимым случаем является равенство годового экономического эффекта нулю ($\mathcal{E} = 0$); при этом коэффициент эффективности капиталовложений равен нормативному ($E = E_n$). Отсюда можно определить минимально допустимое, требуемое значение повышения производительности $\varphi = \varphi_{\min}$, обеспечивающее минимально допустимый экономический эффект, ($\mathcal{E} = 0$). Приравняв в формуле (II-32) $\mathcal{E} = 0$ и решая уравнение относительно φ , получаем

$$\varphi_{\min} = \frac{K\tau(E_n + \alpha_1 + \alpha_2) + 3/\epsilon}{K(E_n + \alpha_1 + \alpha_2) + m(1 - \delta) + 3}. \quad (\text{II-33})$$

Так как показатели E_n , α_1 и α_2 являются нормативными, их суммарная величина для данных отраслей производства есть коэффициент с постоянным числовым значением. Так, для автоматов и автоматических линий $E_n = 0,12$; $\alpha_1 = 0,122$, $\alpha_2 = 0,06-0,08$ [9]. Тогда

$$E_n + \alpha_1 + \alpha_2 = a = 0,312.$$

Поэтому в общем виде формула (II-31) упрощается:

$$\varphi_{\min} = \frac{K\tau a + 3/\epsilon}{Ka + m(1 - \delta) + 3} = \frac{0,312K\sigma + 3/\epsilon}{0,312K + m(1 - \delta) + 3}. \quad (\text{II-34})$$

Как видно, основными определяющими факторами требований к производительности при проектных технико-экономических расчетах являются ожидаемые дополнительные затраты на автоматизацию $K(\sigma-1)$ и ожидаемое сокращение количества обслуживающих рабочих ϵ , фонда их зарплаты.

Оценивая эти величины в совокупности с требуемым повышением производительности оборудования, а также реальными возможностями этого повышения с использованием имеющихся технических средств, можно реально оценить, насколько достижимыми являются те технические рубежи, которые необходимо преодолеть.

Рассмотрим методику такого расчета и анализа на конкретном примере. Имеется поточная линия из токарных многошпиндельных полуавтоматов, где загрузка и сьем изделий, их межстаночная транспортировка, уборка стружки и другие операции производятся вручную (рис. II-17, а).

Стоимость одного полуавтомата приблизительно $K = 20\,000$ руб. Норма обслуживания операторов со среднемесячной зарплатой 125 руб. $z_{оп} = 2$ станка; наладчиков со среднемесячной зарплатой 150 руб. $z_n = 5$ станков; вспомогательных рабочих со среднемесячной зарплатой 100 руб. $z_{всп} = 8$ станков. Итого фонд зарплаты, приходящийся на один станок, при двухсменной работе с учетом дополнительной зарплаты и начислений (коэффициент 1,14) составляет

$$З = (125/2 + 150/5 + 100/8) \cdot 2 \cdot 12 \cdot 1,14 = 2850 \text{ руб./год.}$$

Длительность рабочего цикла полуавтомата $T = 48 \text{ с} = 0,8 \text{ мин}$, коэффициент технического использования $\eta_{тех} = 0,85$; следовательно, техническая производительность $Q = 1/T \cdot \eta_{тех} = 1/0,8 \cdot 0,85 = 1,07 \text{ шт./мин}$, так как оборудование загружено полностью.

Проектом автоматизации намечается создание вместо поточной линии групповой автоматической линии (рис. II-17, б) с автоматизацией процессов: а) загрузки и съема изделий; б) межстаночной транспортировки; в) отвода стружки с помощью автооператоров, транспортера-распределителя, отводящего транспортера и др. (см. гл. VIII). Ориентировочно стоимость средств автоматизации, приходящаяся на один станок, учитывая их типовую конструкцию, должна составить 5000—7000 руб.

Так как и ручная, и автоматическая загрузка в многошпиндельных станках совмещается с обработкой, длительность рабочего цикла после автоматизации сохранится ($T = 0,8 \text{ мин} = \text{const}$), производительность оборудования может измениться (при этом довольно значительно) из-за изменения показателей надежности автоматизируемого оборудования — коэффициента технического использования $\eta_{тех}$ (см. гл. IV). Тогда в общем виде коэффициент изменения производительности

$$\varphi = Q_2/Q_1 = \eta_{тех}/0,85,$$

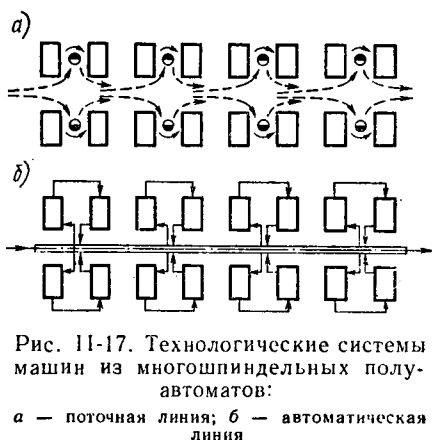


Рис. II-17. Технологические системы машин из многошпиндельных полуавтоматов:

а — поточная линия; б — автоматическая линия

где $\eta_{\text{тех}}$ — коэффициент технического использования автомата, встроенного в линию как варьируемая величина; 0,85 — коэффициент технического использования полуавтомата в поточной линии.

Ожидаемый выигрыш в сокращении зарплаты обслуживающих рабочих определяется тем, что автоматические механизмы и устройства замещают функции рабочих-операторов и вспомогательных рабочих, на линии остаются только наладчики. Надежность оборудования определяют и количество наладчиков на линии — чем выше интенсивность отказов, тем меньше норма обслуживания. Номинальное, ожидаемое сокращение фонда зарплаты (при неизменных нормах обслуживания наладчиков)

$$\epsilon_{\text{ном}} = \frac{125/2 + 150/5 + 100/8}{150/5} = 3,5.$$

Реальное сокращение с учетом изменения норм обслуживания наладчиков при изменении надежности работы оборудования

$$\epsilon = \epsilon_{\text{ном}} \xi(\eta_{\text{тех}}) = 3,5 \xi(\eta_{\text{тех}}),$$

где $\xi(\eta_{\text{тех}})$ — поправочный коэффициент как функция надежности оборудования $(\eta_{\text{тех}})$.

Значения $\xi(\eta_{\text{тех}})$ для токарных многошпиндельных автоматов приведены в табл. II-1. Они рассчитаны согласно [9] при условии, что в исходном варианте было $\eta_{\text{тех}} = 0,85$, $Z_n = 5$.

Т а б л и ц а II-1

Коэффициент технического использования $\eta_{\text{тех}}$	Норма об- служивания наладчика Z_n	$\xi(\eta_{\text{тех}})$	Коэффициент технического использования $\eta_{\text{тех}}$	Норма обслу- живания на- ладчика Z_n	$\xi(\eta_{\text{тех}})$
0,90	6	1,20	0,75	3	0,67
0,85	5	1,00	0,70	2	0,40
0,80	4	0,80	0,65	1	0,25

Как видно из таблицы, если в результате автоматизации надежность оборудования удастся повысить до $\eta_{\text{тех}} = 0,90$, появляется возможность увеличить норму обслуживания наладчиков до $Z_n = 6$ и тем самым увеличить общую экономию зарплаты ($\epsilon = 3,5 \cdot 1,2 = 4,2$). И наоборот, если в результате автоматизации надежность снижается, например, до $\eta_{\text{тех}} = 0,70$, нормы обслуживания наладчиков уменьшаются до $Z_n = 2$; следовательно и общая экономия зарплаты резко сокращается ($\epsilon = 3,5 \cdot 0,4 = 1,4$ раза).

Рассчитаем требования к показателям надежности оборудования после автоматизации. Для этого значения $\varphi = f_1(\eta_{\text{тех}})$ и $\epsilon = f_2(\eta_{\text{тех}})$ необходимо подставить в общую формулу зависимости экономической эффективности $\mathcal{E}$ от технических показателей (II-32):

$$\mathcal{E} = K(\eta_{\text{тех}}/0,85 - \sigma)(E_n + \alpha_1 + \alpha_2) + m\eta_{\text{тех}}/0,85(1 - \delta) + 3[\eta_{\text{тех}}/0,85 - 1/3,5\xi(\eta_{\text{тех}})]. \quad (\text{II-35})$$

Так как функция $e = f(\eta_{\text{тех}})$ выражена в табличной, а не аналитической форме, получить решение обычным путем, приравняв $\mathcal{E} = 0$ и решив уравнение относительно $\eta_{\text{тех}}$, не удастся. Поэтому используем графо-аналитический метод — рассчитываем и строим зависимости $\mathcal{E} = f_3(\eta_{\text{тех}})$ при числовых значениях остальных параметров; искомое значение $\eta_{\text{тех}}$ находим на пересечении данной кривой с осью $\mathcal{E} = 0$. Средний ожидаемый коэффициент увеличения стоимости

$$\sigma = \frac{20\,000 + 6000}{20\,000} = 1,3.$$

Коэффициент экономичности $\delta = 1,0$, так как технологические процессы остаются неизменными. Нормативные коэффициенты $E_n + \alpha_1 + \alpha_2 = a = 0,312$. Подставляя все числовые величины в формулу (II-35), получаем:

$$\mathcal{E} = 20\,000 \left(\frac{\eta_{\text{тех}}}{0,85} - 1,3 \right) 0,312 + 2850 \left[\frac{\eta_{\text{тех}}}{0,85} - \frac{1}{3,5 \xi(\eta_{\text{тех}})} \right].$$

Подставляя в это выражение последовательно возможные значения коэффициента технического использования ($0,70 \leq \eta_{\text{тех}} \leq 0,90$) и соответствующие им значения $\xi(\eta_{\text{тех}})$ из табл. II-1, получаем графики зависимости годового экономического эффекта $\mathcal{E}$ от надежности автоматизированного оборудования $\eta_{\text{техн}}$ (рис. II-18). Для полного анализа расчеты произведены для трех значений стоимости автоматизации в ожидаемом диапазоне ($\sigma = 1,25 \div 1,30 \div 1,35$).

Как показывают графики, если затраты на автоматизацию составляют по 6000 руб. на один станок, автоматизация является эффективной только при условии, если коэффициент технического использования автомата не ниже, чем у полуавтомата ($\eta_{\text{технmin}} = 0,85$). Реально это трудно достигнуть, так как проектом не предусматривается каких-либо специальных мероприятий по повышению надежности. Между тем внедрение новых механизмов и устройств (автооператоры, подводящие лотки и др.) неизбежно приводит к увеличению интенсивности отказов механизмов и устройств, а возможно и инструментальных наладок.

Поэтому намечаемый конкретный вариант автоматизации по всей вероятности не сможет обеспечить необходимый экономический эффект, от его реализации следует отказаться и искать более перспективные варианты. Здесь возможны два пути:

а) автоматизация на базе типовых конструкций функциональных узлов, что позволит сократить затраты σ и тем самым снизить тре-

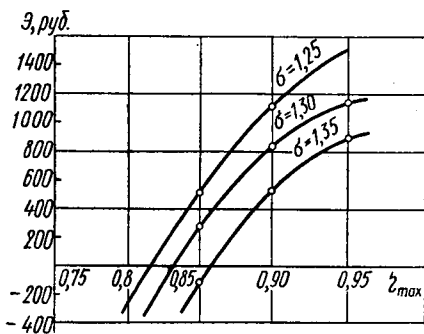


Рис. II-18. Зависимость годового экономического эффекта $\mathcal{E}$ от надежности автоматизированного оборудования

бования к надежности, свести их к технически достижимому уровню;

б) автоматизация с проведением дополнительных мероприятий по повышению производительности и надежности оборудования по сравнению с исходными вариантами (интенсификация режимов обработки, введение быстросменных инструментальных наладок, систем сигнализации об отказах и др.); при этом, однако, необходимы дополнительные затраты, а следовательно, повысятся и требования к производительности.

Приведенные методы и примеры проектных технико-экономических расчетов показывают их существенное преимущество перед поверочными экономическими расчетами, которые обычно применяются на проектной стадии и сводятся к подсчету капитальных и текущих затрат. Здесь большое значение имеют инженерные расчеты и анализ конкретных технических и технико-экономических показателей, что позволяет сознательно анализировать варианты машин и систем машин, выбирать их оптимальные варианты по критерию гарантированного экономического эффекта.

Примеры инженерных технико-экономических расчетов и обоснований на проектной стадии более подробно рассмотрены ниже (гл. IX и X).

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Любая автоматическая линия в пределах планового фонда времени работы может находиться в нескольких состояниях: 1) линия работает, выполняется заданный технологический процесс обработки, контроля, сборки (время рабочих ходов); 2) линия работает, выполняются вспомогательные операции, обеспечивающие технологический процесс (время холостых ходов); 3) линия работает, но выдаваемая продукция не соответствует техническим условиям, т. е. фактически линия в состоянии простоя, так как годной продукции нет; 4) линия простаивает из-за отказов механизмов и инструментов (время простоев по собственным причинам); 5) линия простаивает по внешним организационно-техническим причинам. Согласно основным положениям теории производительности [31], производительным является только то время, которое затрачивается на непосредственное технологическое воздействие, т. е. время рабочих ходов. Остальное время с точки зрения технологического процесса является потерянными, будь то холостые ходы рабочего цикла или внецикловые простои по техническим или организационным причинам.

Проектирование любой автоматической линии начинается с разработки технологического процесса: выбора методов и последовательности обработки, технологических баз, обрабатывающих и сборочных инструментов; затем производится дифференциация технологического процесса на элементы, совмещение операций в каждой рабочей позиции, выбираются режимы обработки и т. д. В результате этого определяется длительность обработки данной детали согласно технологическому процессу, положенному в основу линии, — время рабочих ходов.

Таким образом, еще не имея конструкции автоматической линии, можно определить ее производительность — так называемую технологическую производительность K , (шт./мин или шт./см.). Например, если вал (рис. III-1), обрабатывается на автоматической линии из одного

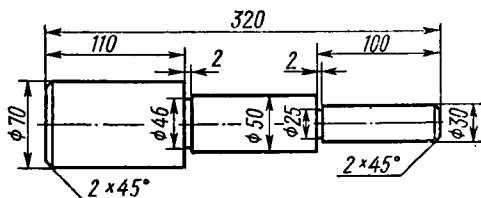


Рис. III-1. Типовая обрабатываемая деталь — ступенчатый вал

фрезерно-центровального и трех последовательных гидрокопированных станков, то на каждом станке обрабатывается лишь одна поверхность, время обработки совмещается и технологическая производительность линии определяется временем самой длительной операции. Если принять подачи при обработке поверхностей диаметром 70,50 и 30 мм $s_1 = 0,62$ мм/об, $s_2 = 0,52$ мм/об; $s_3 = 0,48$ мм/об, а частоту вращения соответственно $n_1 = 520$ об/мин, $n_2 = 520$ об/мин; $n_3 = 710$ об/мин, то самой длительной операцией будет обтачивание поверхности диаметром 50 мм:

$$t_p = l_2/n_2 s_2 = 114/520 \cdot 0,52 = 0,42 \text{ мин.}$$

Производительность автоматических линий, как и любых рабочих машин, определяется количеством годной продукции, выдаваемой в единицу времени.

Технологическая производительность

$$K = 1/t_p = 1/0,42 = 2,4 \text{ шт./мин.}$$

Для автоматов и автоматических линий непрерывного действия *технологическая производительность* означает количество деталей, обрабатываемых в единицу времени при условии бесперебойной работы, т. е. при полном использовании возможностей технологического процесса (автоматические линии из бесцентровошлифовальных станков, работающих на проход; барабанно-фрезерные станки, автоматы непрерывного протягивания и т. д.). Однако в большинстве случаев при проектировании линий конструктивно не удается полностью совместить холостые ходы с обработкой. В технологическом процессе появляются паузы для загрузки и выгрузки, межстаночного транспортирования, зажима и разжима деталей, т. е. уже в конструкции линии неполно используются возможности, заложенные в технологии, а следовательно, производительность по сравнению с технологической снижается. Так, в линии обработки ступенчатых валов холостыми ходами, не совмещенными с обработкой, являются: межстаночное транспортирование изделий, их зажим и разжим на рабочих позициях, подвод и отвод суппортов. Так, если суммарное время холостых ходов линии составляет $t_x = 16$ с, то длительность рабочего цикла линии

$$T = t_p + t_x = 25 + 16 = 41 \text{ с} = 0,72 \text{ мин.}$$

Длительность рабочего цикла определяет цикловую производительность автоматической линии:

$$Q_u = 1/T = 1/(t_p + t_x).$$

Цикловая производительность характеризует возможность выпуска продукции на линии при реальном ее конструктивном воплощении и условии бесперебойной работы.

В автоматах и автоматических линиях непрерывного действия (при $t_x = 0$) цикловая производительность равна технологической,

в остальных случаях она меньше ее и определяется по формуле

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_p + t_x} = \frac{1}{1/K + t_x} = \frac{K}{Kt_x + 1} = K\eta.$$

Величина η называется коэффициентом производительности и характеризует степень непрерывности протекания технологического процесса в машине или автоматической линии. Так, $\eta = 0,8$ означает, что в рабочем цикле 80% составляют рабочие ходы, а 20% — холостые; следовательно, возможности, заложенные в технологическом процессе, использованы на 80%. Чем выше степень непрерывности технологического процесса, тем удачнее решены задачи конструирования механизмов и устройств, тем выше конструктивное совершенство автоматической линии. Поэтому коэффициент производительности η характеризует собой конструктивное совершенство автоматической линии, степень ее приближения к линии непрерывного действия. Таким образом, два показателя производительности: технологическая и цикловая характеризуют автоматическую линию как с точки зрения прогрессивности технологического процесса, положенного в основу линии, так и конструктивного совершенства ее механизмов и устройств, системы управления и т. д.

Для большинства автоматических линий длительность рабочего цикла и всех его элементов остается неизменной в процессе работы машины, поэтому технологическая и цикловая производительности являются постоянными величинами. Исключение составляют автоматические линии с гидравлическим приводом, где длительность обработки изменяется в некоторых пределах в зависимости от температуры и вязкости масла, степени износа инструмента, твердости заготовок и т. д.

Цикловая производительность автоматической линии вычисляется в предположении, что линия работает непрерывно, без каких-либо неполадок и остановов. В действительности же в реальных условиях отдельные периоды бесперебойной работы чередуются с простоями, вызванными сменой и регулировкой инструмента, подналадкой механизмов, уборкой стружки и т. д.

По функциональным признакам все внецикловые простои рабочих машин и автоматических линий можно разделить на пять видов.

1. Простои по инструменту. В эти простои входит время, которое линия простаивает из-за неработоспособности инструментов: смена, регулировка, подналадка инструмента, получение его, ожидание наладчика и т. д.

2. Простои по оборудованию. Линия простаивает, потому что какие-то ее механизмы и устройства неработоспособны из-за поломок, отказов в работе, разрегулирования, загрязнения и т. д. Время простоев по оборудованию включает время на ремонт и регулирование механизмов, замену изношенных деталей и узлов, получение запасных частей, ожидание наладчика и ремонтного мастера и т. д.

3. Простои по организационным причинам. Они возникают в тех случаях, когда автоматическая линия с механиз-

мами и инструментом работоспособна, однако отсутствуют внешние условия для ее нормальной эксплуатации: отсутствие заготовок, электроэнергии, несвоевременный приход и уход обслуживающих рабочих, уборка станков и т. д.

4. Простой из - за брака. Когда инструмент и механизмы работоспособны, имеются заготовки, но результат работы не соответствует требованиям качества. Поэтому, хотя линия и работает, но годной продукции нет и время, затраченное на выпуск бракованной продукции, должно быть отнесено к простоям.

5. Простой при переналадке линии на обработку новых деталей, когда производится замена программносителей, технологической оснастки, зажимных устройств и т. д.

Все простои можно разделить на собственные и организационно-технические. Собственные простои функционально связаны с режимом работы линии. Их уровень определяется конструктивным совершенством линии, ее надежностью в работе, квалификацией обслуживающего персонала и т. д. К ним относятся простои по инструменту и оборудованию, уборка станка, наладочный брак и т. д. Организационно-технические простои обусловлены внешними причинами, функционально не связанными и не зависящими от конструкции линии и системы ее обслуживания (отсутствие заготовок, несвоевременный приход и уход, брак предыдущих операций, переналадка и т. д.).

Чем чаще и длительнее простои, тем ниже *фактическая производительность линии*, т. е. фактическое количество годной продукции, получаемое на линии в среднем за единицу времени в пределах планового фонда времени работы линии.

Для того чтобы учесть влияние внецикловых простоев автоматической линии на производительность машин, необходимо суммарную величину простоев отнести к каким-либо единицам, характеризующим работу линии: одной обработанной детали, единице времени бесперебойной работы и т. д. Этот параметр производительности получил название внецикловых потерь. Внецикловые потери времени — это внецикловые простои, приходящиеся на единицу времени бесперебойной работы машины ΣB или на единицу изделия Σt_n :

$$\Sigma t_n = \Sigma \theta_n / z; \quad (\text{III-1})$$

$$\Sigma B = \Sigma \theta_n / \theta_p, \quad (\text{III-2})$$

где $\Sigma \theta_n$ — суммарное время простоев линии за произвольный период времени; z — количество штук годной продукции, выпущенной на линии за тот же период времени; θ_p — суммарное чистое время безотказной работы линии за тот же период времени.

Так как $\theta_p = zT$, где T — длительность рабочего цикла линии, то между двумя формами выражения внецикловых потерь существует простое соотношение

$$\Sigma t_n = \frac{\Sigma \theta_n}{z} = \frac{\Sigma \theta_n}{\theta_p} T = \Sigma B T; \quad \Sigma B = \frac{\Sigma t_n}{T}. \quad (\text{III-3})$$

Так как внецикловые простои $\Sigma \theta_n$ технического и организационного характера, а следовательно, периоды безотказной работы θ_p являются случайными величинами по своей длительности и моменту начала, внецикловые потери также являются случайными величинами; для определения их числовых значений необходимы длительные наблюдения за работой оборудования и обработка полученной информации методами теории вероятностей и математической статистики.

Влияние *внецикловых простоев* на производительность машин можно оценить и с помощью коэффициента $\eta_{ис}$, который численно равен доле времени работы машины θ_p в общем плановом фонде времени θ . Согласно определению

$$\eta_{ис} = \frac{\theta_p}{\theta} = \frac{\theta_p}{\theta_p + \Sigma \theta_n} = \frac{1}{1 + (\Sigma \theta_n / \theta_p)}. \quad (III-4)$$

Производительность и коэффициент использования автоматических линий с учетом длительности цикла T и внецикловых потерь Σt_n выражается следующим образом:

$$\eta_{ис} = \frac{1}{1 + \Sigma B} = \frac{1}{1 + (\Sigma t_n / T)}; \quad (III-5)$$

$$Q = Q_u \eta_{ис} = \frac{1}{T + \Sigma t_n} = \frac{1}{T (1 + \Sigma B)}. \quad (III-6)$$

Как отмечено выше, все внецикловые простои автоматических линий можно разделить на собственные $\Sigma \theta_c$, вызванные собственными причинами, и организационно-технические $\Sigma \theta_{от}$, вызванные внешними причинами, не зависящими от технологического процесса и конструкции линии:

$$\Sigma \theta_n = \Sigma \theta_c + \Sigma \theta_{от}.$$

Соответственно этому существуют собственные (Σt_c) и организационно-технические ($\Sigma t_{от}$) внецикловые потери, сумма которых и составляет общую длительность собственных внецикловых потерь Σt_n :

$$\Sigma t_n = \Sigma t_c + \Sigma t_{от}. \quad (III-7)$$

При оценке резервов повышения производительности действующих автоматических линий в конкретных условиях производства необходимо оценивать оба вида потерь. При сравнительном анализе и выборе различных вариантов конструктивно-технологических решений должны учитываться только собственные технические потери.

Коэффициент технического использования $\eta_{тех}$ численно равен доле времени работы машины при условии обеспечения ее всем необходимым (т. е. в периоды, исключаяющие организационные простои). Условия использования машины могут быть оценены коэффициентом загрузки, который численно показывает, какую долю времени машина обеспечена всем необходимым. Так, значения $\eta_{тех} = 0,8$ и $\eta_3 = 0,9$ означают, что в общем плановом фонде времени машина обеспечена

всем необходимым (заготовки, инструмент, электроэнергия, вспомогательные материалы и т. д.) только 90% всего времени и в периоды этой обеспеченности машина работает 80%, а остальное время простаивает по техническим причинам (простой из-за смены и регулировки инструмента, отказов механизмов и устройств, наладки и подналадки и др.).

Тогда коэффициент использования

$$\eta_{ис} = \eta_{тех} \eta_z = 0,8 \cdot 0,9 = 0,72.$$

Коэффициент технического использования

$$\eta_{тех} = \frac{1}{1 + (\Sigma \theta_c / \theta_p)} = \frac{1}{1 + (\Sigma t_c / T)}, \quad (III-8)$$

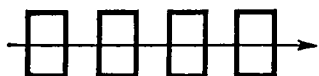


Рис. III-2. Простейшая автоматическая линия с жесткой связью

где $\Sigma \theta_c$ — суммарные собственные простои за некоторый период времени θ ; θ_p — суммарное время работы за тот же период времени;

Σt_c — собственные внецикловые потери.

Производительность машины с учетом только собственных потерь называют *технической производительностью*

$$Q_T = (1/T) \eta_{тех} = 1/(T + \Sigma t_c).$$

Все приведенные выше формулы относятся к простейшему, но наиболее распространенному случаю, когда за рабочий цикл машина выдает одно изделие. Если в общем случае за цикл выдается p изделий, производительность

$$Q = (p/T) \eta_{ис} = p/(T + p \Sigma t_n); \quad (III-9)$$

$$\eta_{ис} = \frac{1}{1 + (p \Sigma t_n / T)}. \quad (III-10)$$

Внецикловые потери Σt_n и B как показатели работоспособности получили большое распространение при теоретических расчетах, сравнении различных вариантов, прогнозировании производительности. Их достоинством является простота количественных связей между показателями систем и их элементов (например, внецикловые потери линии с жесткой связью равны сумме внецикловых потерь всех станков, механизмов и устройств). На рис. III-2 показана структурная схема простейшей автоматической линии из четырех станков, заблокированных общим транспортером, вследствие чего любая неполадка механизма или инструмента на каждом из станков вызывает простой всей системы. Зная параметры фактической производительности t_{ni} и $\eta_{исi}$ каждого из станков, необходимо определить соответствующие параметры системы в целом.

Внецикловые потери линии определяются суммированием потерь встроенных станков:

$$\Sigma t_n = t_{nI} + t_{nII} + t_{nIII} + t_{nIV} = \sum_{I}^{IV} t_n.$$

В простейшем случае, когда q станков равнонадежны, $t_{ni} = \text{const}$

$$\sum t_n = t_n q.$$

Такая форма весьма удобна при любых преобразованиях, математических выкладках, анализе отдельных составляющих. В то же время коэффициент использования линии через соответствующие показатели встроенных станков имеет сложную и менее удобную для анализа и расчета форму:

$$\eta_{a..l} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \eta_I}{\eta_I} + \frac{1 - \eta_{II}}{\eta_{II}} + \frac{1 - \eta_{III}}{\eta_{III}} + \frac{1 - \eta_{IV}}{\eta_{IV}}}.$$

Например, имеется автоматическая линия с жесткой связью из четырех станков (рис. III-2) с характеристиками длительности рабочего цикла T и собственных внецикловых потерь t_{ni} (табл. III-1).

Т а б л и ц а III-1

Станки	t_{ni}	T	η_i	Станки	t_{ni}	T	η_i
Станок I	0,10	0,8	0,89	Станок III . . .	0,08	0,8	0,91
Станок II	0,12	0,8	0,87	Станок IV . . .	0,06	0,8	0,93

Коэффициенты технического использования η_i рассчитываем по формуле (III-8), результаты также заносим в таблицу.

Суммарные собственные внецикловые потери

$$\begin{aligned} \sum t_n &= t_{nI} + t_{nII} + t_{nIII} + t_{nIV} = 0,10 + 0,12 + 0,08 + 0,06 = \\ &= 0,36 \text{ мин/шт.} \end{aligned}$$

Коэффициент технического использования линии через внецикловые потери

$$\eta_{a..l} = \frac{1}{1 + (\sum t_n / T)} = \frac{1}{1 + (0,36 / 0,8)} = 0,69.$$

Тот же параметр через коэффициенты технического использования встроенных станков

$$\begin{aligned} \eta_{a..l} &= \frac{1}{1 + \frac{1,0 - 0,89}{0,89} + \frac{1,0 - 0,87}{0,87} + \frac{1,0 - 0,91}{0,91} + \frac{1,0 - 0,93}{0,93}} = \\ &= 0,69. \end{aligned}$$

Значительная часть задач анализа и синтеза машин, решаемых методами теории производительности, требует знания числовых значений только собственных потерь, поэтому в формулах под символами $\sum t_n$ и $\eta_{ис}$ понимают обычно собственные потери и коэффициент

технического использования, а под производительностью машины Q — ее техническую производительность.

Таким образом, в зависимости от учитываемых факторов различают следующие категории производительности:

1. *Технологическая производительность* K — идеальная производительность машин при непрерывном выполнении технологического процесса, без пауз на холостые ходы и внецикловые простои:

$$K = 1/t_p. \quad (\text{III-11})$$

2. *Цикловая производительность* $Q_{\text{ц}}$ — производительность машины с реальными холостыми ходами при бесперебойной работе, т. е. при отсутствии простоев:

$$Q_{\text{ц}} = 1/(t_p + t_x). \quad (\text{III-12})$$

3. *Техническая производительность* $Q_{\text{т}}$ — производительность реальной машины при условии обеспечения ее всем необходимым с учетом лишь собственных потерь:

$$Q_{\text{т}} = 1/(t_p + t_x + t_c). \quad (\text{III-13})$$

4. *Фактическая производительность* Q — производительность реальной машины в реальных условиях эксплуатации с учетом всех потерь

$$Q = 1/(t_p + t_x + t_n). \quad (\text{III-14})$$

Все показатели производительности рабочих машин можно разделить на три вида:

а) показатели производительности действующего оборудования, определяемые путем его эксплуатационных исследований;

б) показатели ожидаемой производительности проектируемого оборудования, определяемые теоретически путем прогнозирования;

в) показатели требуемой производительности, определяемые теоретически исходя из заданного функционального назначения по отношению как к действующему, так и проектируемому оборудованию.

Все изложенные выше исходные положения теории производительности, более подробно рассмотренные в [29], [30], [31], справедливы для автоматических систем машин — автоматических линий любого технологического назначения.

§ 2. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛИНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ОПЕРАЦИЙ

Как уже известно, задачи расчета и проектирования автоматов и автоматических линий всегда являются многовариантными. Так, техническое задание на создание линии содержит, как правило, минимальное количество исходных данных: обрабатываемое изделие со всеми техническими требованиями к нему и требуемый выпуск изделий. Так как технические требования к изделию в первую очередь

ставятся по точности размеров и чистоты обрабатываемой поверхности и реализуются путем использования соответствующих технологических процессов, исходными параметрами при проектировании линии являются:

а) принятые методы и маршрут обработки; б) требуемая производительность, которая часто задается в некотором диапазоне.

Этим условиям соответствует, как правило, большое количество различных конструктивно-технологических вариантов построения автоматической линии, которые могут отличаться технологическими режимами, числом рабочих позиций, параллельных потоков обработки, участков-секций, типом накопителей, количеством обслуживающих рабочих-наладчиков, степенью унификации типовых механизмов и их компоновкой.

Каждому технически возможному сочетанию этих параметров соответствуют различные величины производительности линии, ее стоимости, себестоимости выпускаемой продукции и т. д. Важнейшим фактором, определяющим эффективность того или иного возможного варианта автоматической линии, является ее производительность. Поэтому одной из важнейших задач теории автоматических линий является разработка математических уравнений, связывающих технологические, конструктивные, структурные, эксплуатационные параметры автоматических линий с показателями их производительности. Это позволяет прежде всего решать научные задачи количественного анализа и выявления важнейших закономерностей построения и развития автоматических линий, влияния тех или иных параметров на их производительность и эффективность, определения перспектив и целесообразности совершенствования тех или иных параметров.

Согласно общим положениям теории производительности [см. формулу (III-13)] производительность автоматической линии есть величина, обратная длительности рабочего цикла и внецикловым потерям (простоям, приходящимся на единицу выпущенной продукции).

Рабочий цикл определяется временем рабочих t_p и холостых t_x ходов. При сравнительном анализе технических вариантов должны учитываться только собственные потери, в первую очередь по инструменту ΣC_i и оборудованию t_e . Тогда, подставляя в формулу (III-13) значения Σt_c , получаем

$$Q = \frac{1}{t_p + t_x + \Sigma C_i + t_e} \quad (\text{III-15})$$

Каждое из возможных сочетаний конструктивных, технологических, структурных и эксплуатационных параметров линии определяет и числовые значения цикловых и внецикловых затрат времени согласно формуле (III-15), при этом, как правило, это влияние носит многофакторный характер. Так, например, варьирование режимов обработки с одной стороны влияет на длительность рабочих ходов t_p , а иногда и холостых t_x , с другой — на стойкость инструмента, долю его участия в обработке, а следовательно, на потери по инструменту.

Метод анализа по производительности, предложенный впервые Г. А. Шаумяном [29], заключается в том, что из всех варьируемых

параметров машины выделяется один (x). Затем определяется влияние варьирования данного параметра x на все составляющие затрат времени, т. е. отыскиваются функциональные зависимости $t_p = f(x)$, $t_x = f_2(x)$, $\Sigma C_i = f_3(x)$, $t_e = f_4(x)$.

Если эти зависимости найдены и определены постоянные, не зависящие от данного параметра, производительность машины оказывается функцией только одного переменного x :

$$Q = f(x), \quad (\text{III-16})$$

Функциональные уравнения производительности (III-16) позволяют не только научно анализировать зависимость производительности линий от данного параметра, но и решать прикладные задачи расчета и проектирования. Сравнивая между собой различные возможные варианты линий, можно выбрать наиболее производительные из них («прямая» задача, см. рис. II-1) и, наоборот, задаваясь максимальными либо допустимыми значениями показателей производительности, можно рассчитать оптимальные $x_{\text{опт}}$ или граничные $x_{\text{доп}}$ значения данного параметра («обратная задача»). Классическим примером этому может служить задача определения режимов обработки, обеспечивающих максимальную производительность автоматов [29].

Важнейшими конструктивно-структурными параметрами, которые необходимо выбрать при проектировании линии, являются: 1) число рабочих позиций; 2) число параллельных потоков обработки; 3) число участков-секций, на которое делится линия.

Рассмотрим основные аналитические зависимости производительности автоматических линий от этих факторов.

Первой задачей проектирования после выбора методов, маршрута и режимов обработки является определение числа рабочих позиций, на которых будет выполняться обработка.

Во многих случаях полная обработка даже весьма сложных по конфигурации изделий может быть выполнена в одной машине. Так, обработку корпусных изделий можно полностью выполнить на горизонтально-расточном станке или станке с программным управлением типа «обрабатывающий центр», которые имеют все необходимое для операций расточки, обточки, фрезерования, сверления отверстий, нарезания резьбы и т. д.

Здесь при одноинструментной обработке и последовательном выполнении всех операций общее время обработки равно сумме длительностей всех составных операций технологического процесса. Для других изделий, например тел вращения, не существует станков, способных выполнить весь технологический процесс, включающий токарные, шлифовальные, зуборезные и другие операции. В этих случаях общий объем технологического воздействия разделяется (дифференцируется) на составные части, каждая из которых выполняется на машинах различного технологического назначения.

Принцип дифференциации технологического объема обработки на составные части, выполняемые на различных рабочих позициях, известен еще со времен мануфактурного производства и является важнейшим технологическим методом повышения производительности,

применимым в условиях как автоматизированного, так и неавтоматизированного производства. Он лежит в основе построения поточных линий обработки и сборки в самых различных отраслях промышленности (машиностроении, приборостроении, электронной и электротехнической, легкой и пищевой промышленности и др.).

Так, технологический процесс получения высокоточных резьбовых отверстий, состоящий из ряда дискретных воздействий, может быть выполнен на ряде последовательно расположенных однопозиционных станков, каждый из которых выполняет одну из операций: 1) сверление; 2) рассверливание; 3) зенкерование; 4) зенковка; 5) нарезание резьбы.

Возможна и дальнейшая дифференциация путем дробления операций сверления, рассверливания, зенкерования по длине, когда в одной позиции производится обработка лишь на $1/2$, $1/3$ глубины и меньше.

Аналогично процесс изготовления изделий типа колпачков из плоских заготовок можно дифференцировать на несколько составных частей, каждая из которых выполняется в различных позициях, посредством различных штампов: первая вытяжка, вторая вытяжка, третья вытяжка, калибровка, обрезка и т. д.

В автоматизированном производстве, где существуют самые широкие возможности совмещения операций, одним из первых этапов разработки технологического процесса является определение этих возможностей на всех этапах выполнения технологического процесса. В результате из общего количества выделяется S основных — несовмещенных, последовательно выполняемых операций. Их общая длительность

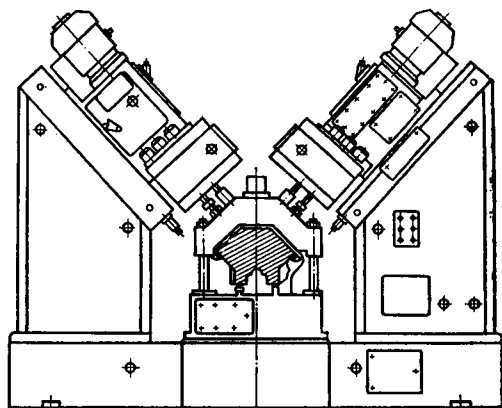


Рис. III-3. Общий вид рабочей позиции автоматической линии из агрегатных станков

$$t_{\text{по}} = \sum_{i=1}^S t_{\text{pi}}.$$

Остальные операции совмещаются с основными и на общую суммарную длительность обработки не влияют.

В каждой рабочей позиции в течение рабочего цикла, как правило, совершается только один ход механизмов рабочих ходов с инструментами для выполнения основной и совмещенной с ней операций обработки.

Это можно иллюстрировать рис. III-3, на котором показана конструктивная схема механизмов и устройств рабочей позиции линии из агрегатных станков. Обрабатываемое изделие зажимается и фиксируется в стационарном приспособлении, инструменты расположены на двух агрегатных силовых головках с возвратно-поступательными перемещениями. Как видно, каждая головка может произвести лишь однотипные операции, из которых наиболее продолжительная является основной, а остальные — совмещенными.

Скомпоновать еще какие-либо механизмы, которые обеспечили бы дополнительные операции обработки изделия, закрепленного в данном приспособлении, не представляется возможным по конструктивным соображениям.

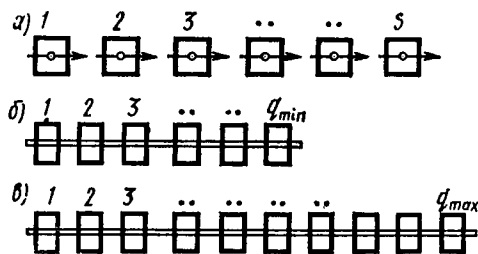


Рис. III-4. Системы машин для выполнения дифференцированных технологических процессов обработки:

а — поточная линия из S однопозиционных станков; б — автоматическая линия с минимально возможным числом рабочих позиций $q_{\min} = S$ без дифференциации основных операций; в — автоматическая линия с максимальным числом позиций $q_{\max} > S$ с дифференциацией основных операций

Аналогичные трудности возникли бы и при попытках выполнять за каждый цикл два хода головки с различными инструментами. Поэтому в каждой рабочей позиции в основном выполняется только одна операция из числа несовмещенных, число позиций линии не может быть меньше, чем количество таких операций ($q_{\min} = S$).

Если технологический процесс реализуется в поточных линиях из однопозиционных полуавтоматов и автоматов, такая система с диф-

ференцированным технологическим процессом должна состоять, по крайней мере, из S станков (рис. III-4, а).

В автоматических линиях благодаря единой транспортной системе, системе управления и т. д. происходит не только дифференциация общего объема обработки по рабочим позициям, но и их объединение — концентрация операций. Простейшим вариантом автоматической линии, который при проектировании принимается за исходный, является однопоточная автоматическая линия с жесткой межагрегатной связью и числом позиций $q_{\min}$, соответствующим числу последовательных несовмещенных операций обработки S (рис. III-4, б).

Если такая система при выбранных режимах обработки v_{oi} удовлетворяет заданным требованиям производительности, она и принимается за основу дальнейшей разработки конструкции и компоновки линии. Любое усложнение линии путем дальнейшего увеличения степени дифференциации и концентрации операций (т. е. увеличения числа позиций $q > q_{\min}$), а также ее структуры (применения многопоточных линий, разделенных на участки) вызывается только недостаточной ожидаемой производительностью простейшего варианта.

Определим зависимость производительности линий с жесткой связью от числа рабочих позиций q , для чего необходимо функционально выразить все элементы затрат времени как функцию числа позиций.

1. Вре́мя рабочих ходов t_p цикла тем меньше, чем на большее число частей дифференцирован технологический процесс. Если общая длительность последовательно выполняемых основных (несовмещенных) операций обработки изделия t_{p0} , то при равномерной дифференциации время обработки на каждой позиции

$$t_p = t_{p0}/q. \quad (\text{III-17})$$

При неравномерной дифференциации время рабочего хода на линии равно времени самой продолжительной операции обработки $t_{i \max}$:

$$t_p = t_{i \max}.$$

2. Вре́мя холостых ходов t_x цикла, как правило, от количества рабочих позиций не зависит. Так, в линиях из агрегатных станков (см. гл. I) холостые ходы цикла включают в себя время межстаночного транспортирования изделий, их зажима и разжима на рабочих позициях, быстрого подвода и отвода силовых головок. Все они зависят только от величин холостых перемещений и их скорости, а не от продолжительности обработки. Поэтому при расчетах можно принимать $t_x = \text{const}$.

3. Внецикловые потери по инструменту ΣC_i также от степени дифференциации и концентрации операций не зависят. Для полной обработки изделий любая технологическая система, выполняющая этот технологический процесс, должна иметь полный комплект инструмента для всех основных и совмещенных операций. Дифференциация технологического процесса на части означает лишь рассредоточение комплекта по позициям. При любом варианте дифференциации в случае идентичности методов, маршрута и режимов обработки стойкость инструментов, время их замены, участие каждого вида инструмента в обработке одного изделия есть величины постоянные. Между тем по определению

$$\Sigma C_i = \sum_i \frac{a_i t_i}{T_i}, \quad (\text{III-18})$$

где C_i — внецикловые потери i -го инструмента; a_i — время участия i -го инструмента в обработке одного изделия; t_i — время замены i -го инструмента; T_i — стойкость i -го инструмента.

Так как в линии с жесткой связью любой отказ инструмента вызывает простой всей линии независимо от расположения инструментов, суммарные потери по инструменту ΣC_i (простой линии по инструменту), приходящиеся на одно изделие:

$$\Sigma C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_i^n \frac{a_i t_i}{T_i}. \quad (\text{III-19})$$

где n — число инструментов в комплекте.

От числа рабочих позиций суммарные потери по инструменту не зависят $\Sigma C_i = \text{const}$ и являются лишь функцией параметров технологического процесса.

4. Внецикловые потери по оборудованию t_e функционально зависят от числа позиций q , так как с ростом числа позиций общее количество одноименных механизмов и устройств в линии увеличивается. Каждая рабочая позиция имеет обычно полный необходимый комплект механизмов и устройств. Такими устройствами, например, в линиях из агрегатных станков являются агрегатные силовые головки и приспособления для зажима и фиксации изделий при обработке. Если обозначить внецикловые потери одного позиционного комплекта механизмов t_{ei} , то потери по оборудованию всей линии

$$t_e = t_{e1} + t_{e2} + \dots + t_{eq} = \sum_1^q t_{ei}. \quad (\text{III-20})$$

Такая зависимость справедлива для любой линии с жесткой связью, так как отказ любого механизма или устройства приводит к простоем всей линии. В простейшем случае, когда потери всех позиций равновелики, суммарные потери по оборудованию

$$t_e = t_{e1} q. \quad (\text{III-21})$$

Подставляя все функциональные выражения в общую формулу производительности (III-15), получаем функциональную зависимость технической производительности однопоточных линий с жесткой связью от числа рабочих позиций:

$$Q = \frac{1}{(t_{p0}/q) + t_x + \Sigma C_i + t_{e1} q}. \quad (\text{III-22})$$

Как видно, в соответствии с общей методикой производительность линии функционально выражается через варьируемый параметр q и показатели, которые для данной совокупности условий являются условно постоянными (t_{p0} , ΣC_i , t_{e1}).

При простейшем варианте дифференциации и концентрации операций, когда в каждой позиции выполняется одна из S основных и все совмещенные с ней операции, число позиций равно минимально возможному ($q = q_{\min} = S$), а производительность линии

$$Q_1 = \frac{1}{(t_{p0}/q_{\min}) + t_x + \Sigma C_i + t_e q_{\min}}. \quad (\text{III-23})$$

Рассчитываемые по формулам (III-22) и (III-23) значения Q относятся к категории ожидаемой, прогнозируемой производительности, так как она характеризует различные возможные варианты проектируемых линий. Числовые значения определяющих параметров t_{p0} , t_x , ΣC_i , t_e также носят предположительный характер. Величины t_{p0} и ΣC_i определяются технологическим процессом, положенным в основу линии, время холостых ходов и потерь по оборудованию оце-

нивается исходя из данных эксплуатационных исследований однотипных линий (см. § 4).

Если полученная при расчете величина ожидаемой производительности выше или равна требуемой по техническому заданию программе выпуска $Q_1 \gg Q_{\text{тр}}$, в основу дальнейшего проектирования кладется именно данный простейший вариант (см. рис. III-4, б). Если это условие не выполняется, необходимый уровень производительности можно обеспечить либо дальнейшей дифференциацией технологического процесса — увеличением количества позиций q при том же объеме обработки, либо структурным усложнением линии.

Увеличение числа рабочих позиций линии сверх технологически минимального достигается дифференциацией лимитирующих во времени операций, например дроблением длины обработки при точении, сверлении, фрезеровании, расточке и т. д. Однако возможности такой дифференциации далеко не безграничны, существуют технические ограничения дробления операций главным образом по критерию качества обработки (точности и чистоты обрабатываемых поверхностей). Так, не подлежат дроблению по длине операции чистового растачивания и фрезерования, шлифования, нарезания резьбы и т. д. Поэтому всегда существуют максимально возможное число частей, на которые технологический процесс можно разбить с целью повышения производительности, а следовательно, и максимальное количество рабочих позиций q_{max} . Поэтому математическая зависимость производительности от числа позиций $Q = f(q)$ имеет физический смысл только в пределах $q_{\text{min}} < q < q_{\text{max}}$. Согласно общим положениям теории производительности [31], зависимость производительности автоматов и линий последовательного действия от степени дифференциации и концентрации операций имеет экстремальный характер, что показывает уравнение (III-22). Следовательно, теоретически можно определить число позиций $q_{\text{опт}}$, при котором производительность автоматической линии (при отсутствии ограничений q) максимальна для сочетания данных конкретных условий. Математически величина $q_{\text{опт}}$ определяется дифференцированием уравнения (III-22), откуда

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{t_{\text{р0}}/t_{\text{е}}}. \quad (\text{III-24})$$

В реальных условиях могут быть два основных случая:

- 1) $q_{\text{опт}} > q_{\text{max}}$; при этом увеличение числа позиций до максимально возможного обеспечивает монотонный рост производительности линии (рис. III-5, а, кривая I);
- 2) $q_{\text{min}} < q_{\text{опт}} < q_{\text{max}}$, применение максимально возможной дифференциации приводит к более низкой производительности при одновременном увеличении стоимости линии по сравнению с вариантом $q = q_{\text{опт}}$ (рис. III-5, кривая II).

В реальных условиях автоматических линий расчеты показывают, что, как правило, теоретически оптимальное число позиций $q_{\text{опт}}$ намного выше технически максимального q_{max} , определяемого реальными возможностями дифференциации технологического процесса.

Так, в линиях из агрегатных станков (см. гл. I) согласно проведенным эксплуатационным исследованиям [9] внецикловые потери по

оборудованию механизмов и устройств одного встроенного станка (две силовые головки, приспособление и позиция транспортера) составляют в среднем $t_e = 0,01 \div 0,02$ мин/шт. При обработке корпусных изделий средней сложности (корпус редуктора, картер коробки скоростей и т. д.) обычно не более 15—20 основных операций (остальные совмещены с ними во времени), их суммарная продолжительность при принятых режимах обработки находится в пределах $t_{po} = 12 \div 18$ мин. Максимальное количество рабочих позиций, когда в каждой из них совершается одна основная операция и совмещенные с ней, составляет, таким образом, $q_{min} = 15 \div 20$, среднее время обработки в позиции, время рабочих ходов

$$t_p = t_{po}/q_{min} = 0,8 \div 0,9 \text{ мин.}$$

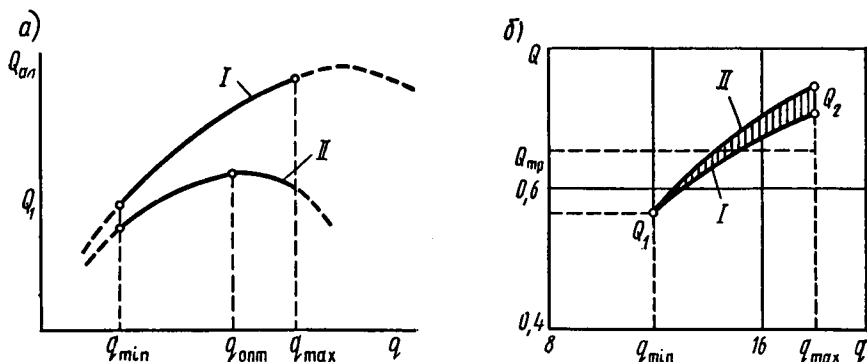


Рис. III-5. Варианты изменения производительности линии при дифференциации и концентрации операций в technically возможных пределах: а — оценка пределов изменения производительности при минимальном и максимальном числе рабочих позиций; б — сравнение ожидаемой и требуемой производительности

Если рассматривать средние условия ($t_{po} = 15$ мин, $t_e = 0,015$), то согласно формуле (III-24) число позиций, обеспечивающих максимальную производительность,

$$q_{opt} = \sqrt{t_{po}/t_e} = \sqrt{15/0,015} = 32.$$

Как видно, $q_{opt} : q_{min} = 2,2$, т. е. для достижения теоретически максимальной производительности необходимо раздробить все составные операции (а наиболее продолжительные из них даже на три части), что нереально. Таким образом, все реальные значения возможной степени дифференциации и концентрации операций соответствуют восходящей ветви кривой производительности (см. рис. III-5, кривая I), что облегчает и упрощает проектные расчеты и выбор числа рабочих позиций.

На рис. III-5, б показана зависимость производительности от числа позиций для условий $q_{max} \ll q_{opt}$. Кривая I построена по формуле (III-22), т. е. с учетом возрастания внецикловых потерь при увеличении $q(\Sigma t_n = \Sigma C_i + q t_e)$. Кривая II построена без уче-

та переменной составляющей внецикловых потерь ($\Sigma t_n = \Sigma C_i + t_e \cdot q_{\min}$). Как видно, при относительно небольшом числе позиций и высокой надежности оборудования дополнительные потери производительности из-за возрастающих потерь (на рисунке заштрихованы) весьма невелики; поэтому при расчете можно задаваться некоторым стабильным значением коэффициента использования линии, независимо от искомого числа позиций.

Выбор числа позиций производится путем сравнения требуемой производительности согласно заданным техническим условиям на проектирование и ожидаемой производительности, рассчитываемой по формуле (III-22), или идентичным математическим зависимостям по ожидаемым величинам длительности обработки t_p холостых ходов цикла t_x и внецикловых потерь Σt_n .

Если $Q_{тр} \leq Q_1$ (см. рис. III-5,б), заданная производительность может быть обеспечена автоматической линией с технологически минимальным числом позиций $q_{\min}$ (без дифференциации основных операций) и простейшей структурой (одночастковой и однопоточной). Линия тем более недогружена, чем больше разница между Q_1 и $Q_{тр}$.

Если $Q_1 < Q_{тр} \leq Q_2$, необходимо проектировать автоматическую линию с дифференциацией некоторых основных операций (дроблением длины обработки и т. д.). Это не исключает, разумеется, варианта линии, где недостающий выпуск $Q_{1р} - Q_1$ целесообразно обеспечить не сокращением рабочих ходов благодаря увеличению числа позиций ($q > q_{\min}$), а уменьшением внецикловых потерь благодаря делению линии на участки (см. § 3).

Если $Q_{тр} > Q_2$, требуемая производительность не может быть обеспечена ни при каком варианте дифференциации и концентрации операций технологического процесса (при выбранных методах, маршруте и режимах обработки). В этих случаях необходимо проектировать многоучастковую или многопоточную автоматическую линию.

Рассмотрим определение степени дифференциации и концентрации операций технологического процесса и расчет цепочки несовмещенных операций обработки, т. е. технологически минимального числа позиций при обработке на автоматической линии на примере корпусной детали [12].

Как отмечалось выше, для каждой обрабатываемой поверхности в соответствии с ее характером (плоскость, отверстие и др.) и требованиями качества обработки (точность и чистота поверхности) сначала выбирают методы обработки, тип инструментов, количество проходов. Так, например, согласно чертежу обрабатываемой детали на одной из плоскостей, предварительно профрезерованной, необходимо обработать 17 отверстий (рис. III-6). Из них отверстия 1—14 являются резьбовыми, остальные гладкими отверстиями: отверстия 15 и 17 должны иметь диаметр $\varnothing 13^{+0,018}$; отверстие 16 — диаметр $\varnothing 90^{+0,23}$.

Согласно таким требованиям точности и возможностям различных методов, на основе опыта решения аналогичных задач обработка отверстий 1—14 выполняется за три операции: 1) сверление $\varnothing 12$; 2) снятие фасок $\varnothing 14$; 3) нарезание резьбы М12.

Аналогично обработка отверстий 15 и 17 выполняется за четыре операции: 1) сверление $\varnothing 12$; 2) зенкерование $\varnothing 12,7$; 3) снятие фасок $\varnothing 14$; 4) развертывание $\varnothing 13^{+0,018}$.

Обработка отверстия 16 большого диаметра, которое имеется в отливке, выполняется за две операции: 1) черновое растачивание $\varnothing 88$, 2) чистовое растачивание $\varnothing 90^{+0,23}$.

Так как согласно чертежу обрабатываемой детали длина каждого отверстия известна, а следовательно, величины ходов инструментов легко определяются, то, задаваясь по справочнику режимами обработки (скорость v , подача s), можно определить время каждой операции t_{pi} и полной обработки каждого отверстия. Если бы деталь обрабатывалась на одноинструментальных станках (универсальном радиально-сверлильном с ручным управлением, многооперационном станке с числовым программным управлением (ЧПУ) и др.), то общее время обработки t'_{po} было бы равно сумме длительности выполнения всех операций:

$$t'_{po} = \sum_1^m \sum_1^n t_{pi} S,$$

где S — количество одинаковых обрабатываемых поверхностей в изделии; n — количество последовательных операций обработки поверхности; m — количество различных обрабатываемых поверхностей.

Так, согласно рис. III-6 для полной обработки системы отверстий необходимо выполнить в общей сложности 52 дискретных переходов обработки

$$S_1 n_1 + S_2 n_2 + S_3 n_3 = 14 \cdot 3 + 2 \cdot 4 + 1 \cdot 2 \approx 52.$$

При обработке на автоматах и автоматических линиях имеются широкие возможности совмещения операций как в пределах одной позиции (многоинструментальная обработка), так и благодаря дифференциации технологического процесса обработки по позициям (многопозиционная обработка).

Таким образом, в условиях автоматизированного производства при одних же методах, маршруте и режимах обработки в зависимости от степени дифференциации и концентрации операций можно иметь большое количество вариантов построения технологического процесса, что определяет при той же точности обработки различную длительность рабочего цикла линии. В пределе время рабочего цикла может складываться из времени одной наиболее длительной операции и холостых ходов (зажим и разжим, подвод и отвод, межстаночная транспортировка). Тем самым интервал выпуска одного изделия по сравнению с одноинструментными станками сокращается в десятки и сотни раз.

После определения методов и последовательности обработки всех рабочих поверхностей следующим этапом разработки технологического процесса автоматической линии является группирование операций и формирование цепочки основных (несовмещенных) операций

При этом необходимо учитывать возможное количество инструментов в одной позиции, совмещение обработки соседних поверхностей, ограничения по мощности, величине рабочих ходов и т. д. Так, согласно рис. III-6 обработку идентичных резьбовых отверстий 8, 13, 11 и 14 нельзя произвести в одной позиции из-за малого расстояния между осями этих отверстий. Такие специфические операции, как нарезание резьбы, следует стремиться также выполнять на специальных позициях, в конце обработки [12].

С учетом этих соображений группирование операций обработки отверстий по рис. III-6 и формирования цепочки основных несовмещенных операций можно произвести следующим образом (при известных перемещениях и режимах обработки):

1) сверление отверстия 1 диаметром 10,5, $t_{pi} = 0,39$ мин; совмещаются операции сверления остальных отверстий (2—12) с той же длительностью $t'_{pi} = 0,39$ мин;

2) снятие фаски в отверстиях 1 диаметром 13, $t_{pi} = 0,09$ мин; совмещаются операции снятия фасок в отверстиях 2—12 ($t'_{pi} = 0,09$ мин);

3) сверление отверстия 13 диаметром 10,5, $t_{pi} = 0,39$ мин; совмещаются сверление отверстия диаметром 14, $t_{pi} = 0,39$ мин и отверстий 15 и 17 ($t'_{pi} = 0,28$ мин);

4) черновое растачивание отверстия 16 диаметром 88, $t_{pi} = 0,44$ мин; совмещаются зенкование отверстий 15 и 17 диаметром 12,7, $t'_{pi} = 0,10$ мин;

5) снятие фасок в отверстиях 13 и 14 диаметром 14, $t'_{pi} = 0,09$ мин;

6) чистовое растачивание отверстия 16 диаметром 90, $t_{pi} = 0,83$ мин; совмещаются развертывание отверстий 15 и 17 диаметром 13, $t'_{pi} = 0,16$ мин;

7) нарезание резьбы М12 в отверстиях 1, $t_{pi} = 0,42$ мин; совмещаются операции нарезания резьбы в отверстиях 3, 5, 8, 9, 11, 12, $t'_{pi} = 0,42$ мин;

8) нарезание резьбы М12 в отверстиях 2 диаметром $t_{pi} = 0,42$ мин, совмещаются операции нарезания резьбы в отверстиях 4, 6, 7, 10, 13, 14, $t'_{pi} = 0,42$ мин.

Таким образом, цепочка основных несовмещенных операций складывается из семи операций общей длительностью

$$t_{pi} = \sum_1^7 t_{pi} = 0,39 + 0,09 + 0,39 + 0,44 + 0,83 + 0,42 + 0,42 = 2,98 \text{ мин.}$$

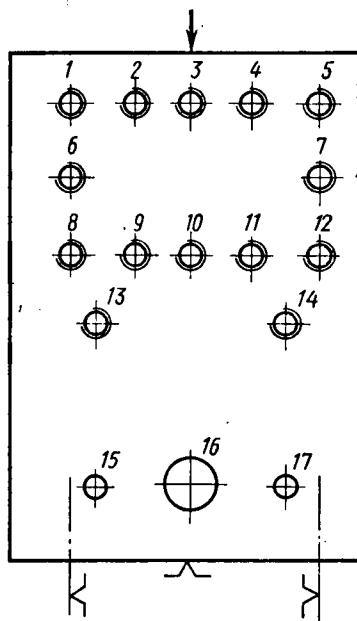


Рис. III-6. Эскиз поверхности обрабатываемой детали:
1—17 — номера обработки

Остальные операции являются совмещенными на позициях на время цикла.

При создании автоматической линии из $q = 7$ время рабочего цикла определяется длительностью обработки на лимитирующей позиции $t_{p\max} = 0,83$ мин, следовательно, интервал выпуска готового изделия при безотказной работе линии составляет приблизительно $T = 1$ мин.

Если обработка производится на одноинструментном станке даже наиболее совершенном, например многооперационном станке с ЧПУ, то необходимо выполнять последовательно 51 операцию обработки общей длительностью

$$\begin{aligned}\Sigma t_p &= (0,39 + 0,09 + 0,42) 14 + (0,29 + 0,10 + 0,12 + 0,16) 2 + \\ &+ (0,44 + 0,83) 1 = 15,29 \text{ мин.}\end{aligned}$$

Если учесть несовмещенное время закрепления и съема, подвода и отвода инструментов, их замены (даже автоматической), то интервал выдачи одного изделия составит около $T = 30$ мин. При обработке детали с двух или трех сторон эта величина соответственно увеличивается. Таким образом, дифференциация и концентрация операций при создании автоматических линий позволяет повысить производительность в десятки раз.

Так как обработка корпусных изделий на линиях из агрегатных станков может производиться с двух или даже с трех сторон, то следует аналогично сгруппировать операции и сформировать цепочку несовмещенных операций для каждой обрабатываемой стороны. Самая длительная по количеству основных операций цепочка определяет минимально возможное число рабочих позиций на данном технологическом участке. Согласно приведенным выше расчетам, обработка системы отверстий на плоскости согласно рис. III-6 не может быть выполнена менее чем на семи позициях. Суммируя эти величины по всем технологическим участкам, получаем первый исходный структурный показатель линии — минимальное технологически возможное число рабочих позиций $q_{\min}$.

Таким образом, если $q = q_{\min}$, на каждой рабочей позиции выполняется полностью одна основная операция обработки t_{pi} и совмещенные с ней $t_{pi}' \leq t_{pi}$.

§ 3. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛИНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ ВАРИАНТАХ

Для повышения производительности и надежности автоматических систем при тех же технологических параметрах и надежности составляющих элементов широко применяется структурное усложнение автоматических линий — деление на участки с установкой межоперационных накопителей, добавление параллельных потоков обработки и т. д.

В простейшем структурном варианте — автоматической линии с жесткой межагрегатной связью (рис. III-7, а) все станки работают,

как правило, в едином ритме, согласно единой циклограмме (см. гл. I). Такое единство обеспечивается благодаря единому транспортеру, который обеспечивает шаговое перемещение изделий между рабочими позициями. Автоматические линии с жесткой межагрегатной связью при выбранном числе позиций q конструктивно наиболее просты, имеют минимальную стоимость. Однако они имеют и минимальную производительность и надежность в работе, так как любой отказ любого механизма или инструмента приводит к отказу и простоя всей линии. Если считать все станки равнонадежными в работе ($t_{pi} = \text{const}$), каждый станок будет простаивать в составе линии с жесткой связью в q раз больше, чем при независимой эксплуатации; следовательно, $\Sigma t_n = t_{pi} \cdot q$.

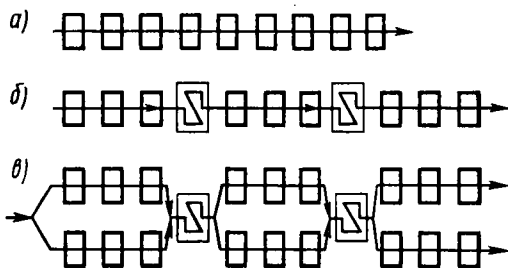


Рис. III-7. Структурные варианты автоматических линий:

а — однопоточная линия с жесткой межагрегатной связью; б — однопоточная линия, разделенная на участки-секции; в — многопоточная линия, разделенная на участки

Производительность линии с жесткой связью

$$Q_l = 1/(t_p + t_x + t_{pi}q), \quad (\text{III-25})$$

где t_{pi} — средние потери одного встроенного в линию станка; t_p — время рабочих ходов цикла, определяемое длительностью обработки на лимитирующей рабочей позиции; t_x — время холостых ходов цикла (межстаночная транспортировка, зажим и разжим изделий, быстрый подвод и отвод рабочих органов).

Коэффициент технического использования автоматической линии с жесткой связью согласно общему определению (см. § 1)

$$\eta_{a.l} = \frac{1}{1 + (\Sigma t_n/T)} = \frac{1}{1 + (t_{pi}q/T)} = \frac{1}{1 + Bq}, \quad (\text{III-26})$$

где $B = t_{pi}/T$ — внецикловые потери одного станка (простои, отнесенные не к единице продукции, а к единице времени безотказной работы).

Производительность линии с жесткой связью, выраженная через коэффициент использования,

$$Q_l = (1/T) \cdot \eta_{a.l} = (1/T) \cdot 1/(1 + Bq). \quad (\text{III-27})$$

Деление автоматической линии на участки с установкой межоперационных накопителей заделов (автоматических или механизированных) позволяет локализовать влияние отказов отдельных механизмов, устройств и инструментов. Так, при делении линии на три участка-секции (рис. III-7, б), например, при отказе одного из станков вто-

рого участка останавливается только данный участок, поскольку внутри участка межагрегатная связь жесткая. Первый участок продолжает работать, накапливая изделия в накопителе, третий продолжает работать, получая изделия из накопителя. Таким образом, если увеличение числа рабочих позиций линии позволяет сократить длительность рабочего цикла при одновременном росте внецикловых потерь, деление линии на участки позволяет сократить внецикловые потери при сохранении длительности рабочего цикла.

Рассмотрим зависимость производительности автоматических линий от их структурного построения для простейшего случая, когда все станки линии имеют одинаковый период рабочего цикла T и одинаковый уровень внецикловых потерь t_n . Тогда при различных структурных вариантах линия имеет одинаковую цикловую производительность $Q_{ц} = 1/T$ и различную величину коэффициента использования.

Коэффициент использования автоматической линии с жесткой межагрегатной связью

$$\eta_{a..l} = \frac{1}{1 + (t_n q / T)} = \frac{1}{1 + Bq} = \frac{1}{1 + B_0}, \quad (III-28)$$

где B_0 — суммарные потери заблокированной линии.

Если автоматическая линия делится на участки-секции по методу равных потерь, то при полной компенсации потерь накопителями потерь соседних участков коэффициент использования

$$\eta_{a..l} = \frac{1}{1 + (Bq/n_y)}, \quad (III-29)$$

где n_y — число участков в линии.

Нетрудно видеть, что величина Bq/n_y представляет собой потери одного участка, в котором жестко заблокировано q/n_y станков. Таким образом, коэффициент использования линии, разделенной на n_y участков, при полной компенсации потерь равен коэффициенту использования одного участка. Однако полная компенсация возможна лишь теоретически при бесконечной емкости накопителей, поэтому в реальных условиях каждый участок линии простаивает не только из-за собственных причин, но и вследствие некомпенсированных простоев соседних участков.

Тогда

$$\eta_{a..l} = \frac{1}{1 + (Bq/n_y) W}, \quad (III-30)$$

где W — коэффициент возрастания внецикловых потерь i -го участка из-за неполной компенсации потерь накопителей на границах участков ($W > 1$).

Наиболее удобно оценивать работоспособность линии по последнему, выпускному участку, который окончательно формирует качество обрабатываемых изделий. Тогда Bq/n_y представляет собой потери выпускного участка, а W — характеризует величину дополнитель-

ных потерь данного участка, которые выражаются в потерях из-за отсутствия заготовок, так как простои предыдущих участков компенсируются неполностью.

Аналитически дополнительные потери могут быть выражены через коэффициенты межучасткового наложения потерь Δ_i , которые показывают численно, какая доля потерь i -го участка передается на последний выпускной через накопители. Например, величина $\Delta_{21} = 0,2$ означает, что благодаря накопителю на границе между первым и вторым участками 80 % потерь второго участка компенсируется, а 20 % потерь передается на первый участок при предельных состояниях накопителя (переполнение или опустошение).

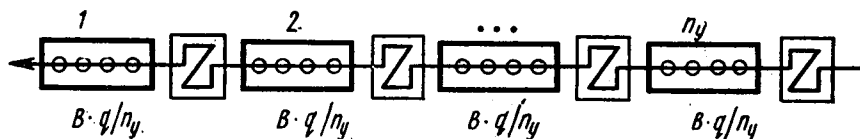


Рис. III-8. Расчетная схема многоучастковой автоматической линии:
1, 2, ... — номера участков

Если выпускной участок обозначить индексом 1, а остальные — 2, 3, 4 и т. д. в технологическом порядке (рис. III-8), то в общем виде можно получить

$$\eta_{a..l} = \frac{1}{1 + B_1 + B_2 \Delta_{21} + B_3 \Delta_{31} + \dots + B_n \Delta_{n1}}, \quad (\text{III-31})$$

где $B_1, B_2, \dots, B_n$ — потери отдельных участков; Δ_{21} — коэффициент наложения потерь второго участка на первый выпускной; Δ_{31} — коэффициент наложения потерь третьего участка на выпускной.

Если линия делится на участки по методу равных потерь ($B_i = \text{const}$), формула (III-31) упрощается

$$\eta_{a..l} = \frac{1}{1 + B(1 + \Delta_{21} + \Delta_{31} + \dots + \Delta_{n1})}. \quad (\text{III-32})$$

Численно величины межучасткового наложения потерь ($0 < \Delta < 1$) зависят от двух факторов — емкости накопителей E и отдаленности i -го участка от выпускного. При отсутствии накопителей ($E = 0$) коэффициент межучасткового наложения потерь равен единице ($\Delta = 1$), т. е. все простои данного участка вызывают эквивалентные простои соседнего. Чем больше емкость межоперационных накопителей, тем меньше межучастковое наложение потерь. В предельном случае, когда $E \rightarrow \infty, \Delta \rightarrow 0$. Коэффициенты наложения потерь отдельных участков на выпускной тем меньше, чем дальше расположен данный i -й участок от выпускного, т. е.

$$\Delta_{21} > \Delta_{31} > \Delta_{41} \text{ и т. д.}$$

Сравнивая формулы (III-30) и (III-32), получаем общее выражение для коэффициента возрастания потерь W через показатели потерь отдельных участков:

$$W = 1 + \Delta_{21} + \Delta_{31} + \Delta_{41} + \dots + \Delta_{n1} \quad (\text{III-33})$$

На практике определения числовых значений коэффициентов межучасткового наложения потерь связано, однако, со значительными трудностями. Так, в процессе эксплуатационных исследований сложных многоучастковых линий обычно среди всей совокупности дополнительных простоев исследуемого участка трудно определить, какая доля этих потерь приходится на каждый из остальных участков.

Поэтому наиболее просто непосредственно определить величину возрастания потерь участка, взятого за основу, т. е. величину W . Это тем более целесообразно, что при прогнозировании производительности и надежности проектируемых автоматических линий расчет межучасткового наложения потерь не может являться самоцелью.

Числовые значения коэффициентов возрастания потерь в многоучастковых автоматических линиях можно определить тремя методами:

а) путем обобщения результатов эксплуатационных исследований однотипных действующих автоматических линий;

б) путем аналитических расчетов по предложенным формулам [8] при известных числовых значениях длительности рабочего цикла T , показателей надежности B , количества участков n_y и вместимости накопителей E ;

в) методами математического моделирования функционирования автоматических линий по тем же исходным данным.

Достоинством первого метода является получение достоверной информации о работе реально действующих объектов, любой сложности, т. е. с любым числом участков и параллельных потоков в каждом участке. Анализ и обобщение такой информации позволяют получить исходные данные, вполне пригодные для расчета проектируемых систем.

Так, многочисленные исследования работоспособности комплексных линий подшипниковой промышленности, каждая из которых включает десятки единиц технологического оборудования, показывает, что даже для станков лимитирующих операций возрастание общих простоев составляет не более 15—20 %, т. е. $W = 1,15—1,25$.

Эту цифру и можно принимать в основу укрупненных расчетов при проектировании новых линий. В двух-трехучастковых линиях из агрегатных станков при достаточно высокой емкости накопителей ($E = 40—60$ мин) коэффициенты возрастания простоев находятся в пределах $W = 1,10—1,20$. Такие укрупненные данные оказываются тем меньше достоверными, чем ниже емкость накопителей, что является тенденцией развития автоматических линий.

Аналитические расчеты связаны с использованием весьма сложных и громоздких аналитических зависимостей, которые к тому же получены только для сравнительно простых вариантов построения линий (двух- и трехучастковых).

Наиболее перспективным методом оценки величины межузасткового наложения потерь и их возрастания в сложных автоматических линиях является статистическое моделирование их работы.

В основу статистического моделирования положен метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), по которому согласно задаваемой системе случайных чисел, характеризующих интервалы безотказной работы и простоев, «проигрываются» ситуации, возникающие в реальных автоматических линиях.

На рис. III-9 показана диаграмма зависимости межузасткового наложения потерь от емкости накопителей, полученная математическим моделированием, откуда видно, что при принятых в настоящее время емкостях накопителей $E = 60-80$ мин межузастковое наложение потерь столь незначительно, что практически не оказывает влияния на фактическую производительность, которую можно определить с достаточной точностью как производительность лимитирующего участка, с учетом длительности его цикла и собственных внецикловых потерь.

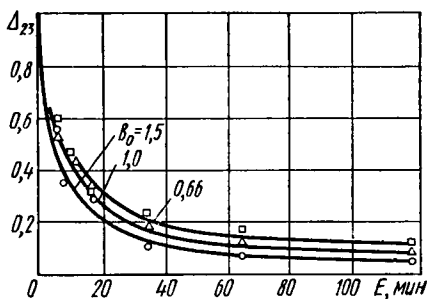


Рис. III-9. Зависимость коэффициента межузасткового наложения потерь от емкости накопителя при различном уровне надежности оборудования (по результатам математического моделирования)

Такая закономерность подтверждена математическим моделированием с помощью более совершенной математической модели, построенной в соответствии с методами теории массового обслуживания. Моделирование приведено в Одесском политехническом институте Р. А. Георгалиным, Г. М. Бритавским и Л. Н. Лозовским для шестиучастковой линии по трем вариантам:

- 1) линия скомпонована из участков с одинаковой собственной производительностью ($\rho = 1$);
- 2) линия скомпонована из оборудования с нарастающей собственной производительностью ($\rho > 1$);
- 3) линия скомпонована из оборудования с убывающей собственной производительностью ($\rho < 1$).

Производительность линии, коэффициент технического использования и коэффициент возрастания потерь рассчитаны по последнему, выпускному участку.

На рис. III-10 приведены графики производительности линии в зависимости от емкости каждого накопителя при всех трех вариантах дифференциации общего объема обработки по участкам. Они показывают, что при заданном общем объеме обработки t_{p0} наиболее высокая производительность линии при равномерном распределении длительности обработки на всех позициях ($t_p = t_{p0}/q = \text{const}$), когда все участки имеют одинаковую собственную производительность ($\rho = 1,0$).

В этом случае уже при $E = 20 \div 30$ мин производительность линии приближается к производительности выпускного участка $Q_{\max}$, определяемой без дополнительных потерь по формуле (III-29). При этом внецикловые потери выпускного участка возрастают не более чем в $W = 1,1 \div 1,2$ раза (рис. III-11). Однако, как показывает последний график, уменьшение емкости накопителей ниже уровня $E = 15 \div 20$ мин вызывает резкий рост дополнительных потерь: при емкости накопителей $E = 5$ мин по величине они превышают уже собственные потери выпускного участка ($W = 2,2$).

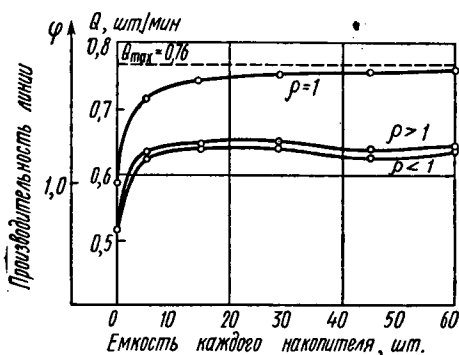


Рис. III-10. Зависимость производительности линии от емкости накопителей и характера распределения объема обработки по участкам (по результатам математического моделирования)

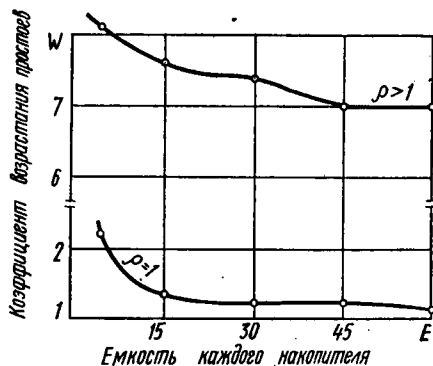


Рис. III-11. Зависимость коэффициента возрастания потерь выпускного участка от емкости накопителей (по результатам математического моделирования)

Для теоретического анализа и выявления характера влияния определяющих параметров на производительность многоучастковых автоматических линий целесообразно применение упрощенных аналитических зависимостей. Введем понятие среднего коэффициента наложения потерь Δ , который численно показывает, какую долю потерь в среднем каждый из остальных ($n_y - 1$) участков передает на выпускной участок. Тогда

$$\Delta_{21} + \Delta_{31} + \dots + \Delta_{n1} = \Delta(n_y - 1). \quad (\text{III-34})$$

Отсюда согласно формуле (III-33) коэффициент возрастания потерь

$$W = 1 + \Delta(n_y - 1). \quad (\text{III-35})$$

Подставляя значение W в формулу (III-30), получаем зависимость коэффициента технического использования автоматической линии и ее производительности от числа участков n_y и надежности встроенного оборудования (B или t_n):

$$\eta_{a..n} = \frac{1}{1 + B(q/n_y)[1 + \Delta(n_y - 1)]}; \quad (\text{III-36})$$

$$Q = \frac{1}{T + t_n (q/n_y) [1 + \Delta (n_y - 1)]} \quad (\text{III-37})$$

Формулы (III-36) и (III-37) являются обобщенными и справедливы для всех возможных структурных вариантов — от поточной линии до автоматической линии с жесткой связью. Эти варианты при одинаковом числе станков q и величине внецикловых потерь t_n отличаются числом участков, величиной компенсируемых потерь и их межуточного наложения (n_y , Δ), а следовательно, и величиной производительности.

В поточной линии, где каждый станок работает независимо и межоперационные заделы при мелких деталях достаточно велики, $n_y = q$; $\Delta \approx 0$; $W = 1,0$. Подставляя эти значения в формулу производительности (III-37), получаем

$$Q_{п.л} = 1/(t_p + t_x + t_n) = 1/(T + \Sigma t_n).$$

В поточных линиях для обработки крупных деталей создание больших межоперационных заделов затруднительно. Так, в линиях для обработки корпусных деталей, где заготовки между станками транспортируются по рольгангам, величина межоперационных заделов ограничивается длиной рольгангов, поэтому коэффициент наложения потерь не равен нулю ($\Delta > 0$).

В автоматических линиях с гибкой связью, где число участков равно числу станков (между соседними станками везде имеются накопители конечной емкости), $n_y = q$; $\Delta > 0$; $W > 1$. Отсюда производительность линии с гибкой связью

$$Q = 1/(t_p + t_x + t_n [1 + \Delta (n_y - 1)]). \quad (\text{III-38})$$

Учитывая, что любая линия с гибкой связью состоит из значительного количества параллельно и последовательно работающих станков, весьма мало зависящих друг от друга, единое понятие «коэффициент технического использования» для линий данного типа физического смысла не имеет.

Подставляя в обобщенную формулу (III-37) различные значения n_y , $\Delta (1 \leq n_y \leq q; 0 \leq \Delta \leq 1,0)$, можно получить производительность автоматической линии при любом структурном варианте: от линии с гибкой связью $n_y = q$ до линии с жесткой связью $n_y = 1$. Минимальную производительность имеет линия с жесткой межагрегатной связью, а также линия, конструктивно выполненная из нескольких участков, однако без заделов между ними. В этих случаях $n_y = 1$, $\Delta = 1$ и внецикловые потери каждого станка возрастают в q раз:

$$Q = 1/(t_p + t_x + t_n q).$$

На рис. III-12 показаны зависимости производительности от выбранной схемы компоновки и степени компенсации потерь для линии из $q = 20$ станков. Возможные значения производительности находятся между Q_I — производительностью линии с жесткой связью, и Q_{IV} — производительностью поточной линии. На графике показаны также

значения: Q_{111} — производительность линии с гибкой связью при $\Delta = 0,1$ и Q_{11} — производительность линии, разделенной на три участка при такой же степени компенсации потерь. Кривые показывают, что деление линии на участки имеет убывающую эффективность повышения производительности особенно при неполной компенсации потерь. Чем больше участков в линии, тем меньший прирост производительности дает прибавление каждого нового накопителя.

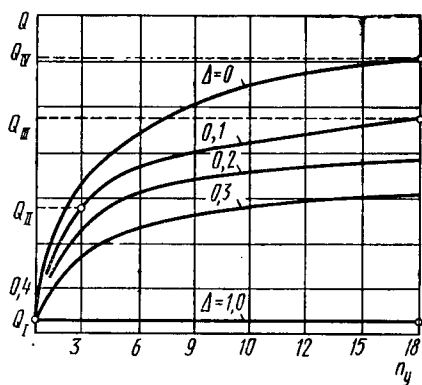


Рис. III-12. Зависимость производительности автоматических линий от числа участков и степени компенсации потерь

Относительное увеличение производительности φ при различных структурных вариантах можно получить в сравнении величины, либо производительности Q , либо коэффициентов технического использования $\eta_{a.l.}$, так как при структурном варьировании длительность рабочего цикла T не изменяется. Наиболее часто необходимо сравнение по производительности линий, разделенных на n_y участков Q_n , с линиями, состоящими из такого же числа станков q , но с жесткой межагрегатной связью $n_y = 1, Q_1$.

С учетом формул (III-26) и (III-36) получим

$$\varphi = \frac{1 + Bq}{1 + (Bq/n_y)[1 + \Delta(n_y - 1)]} \quad (\text{III-39})$$

Приведенный анализ показывает, что деление линий на участки ($n_y > 1$), как и добавление новых рабочих позиций ($q > q_{\min}$), при увеличении степени дифференциации и концентрации операций имеет ограниченные возможности повышения производительности, особенно при высокой надежности встроенного оборудования. Так, расчеты по формуле (III-37) показывают, что в линии из $q = 20$ станков при средних потерях одного станка $t_n = 0,03$ мин/шт. и компенсации потерь накопителями в среднем на 90% ($\Delta = 0,1$) деление линии на $n_y = 2$ участка позволяет получить 13% повышения производительности. Если выбрана трехучастковая схема ($n_y = 3$), то дополнительный прирост производительности по сравнению с двухучастковым вариантом составит только 6%. Даже в линиях с числом позиций $q = 40 \div 50$ деление на число участков более трех нецелесообразно, так как добавление четвертого участка дает прирост производительности не свыше 3—4%. Такая величина достигается достаточно просто без капитальных затрат (улучшение системы обслуживания, повышение режимов обработки и т. д., вплоть до смещения по времени обеденного перерыва).

В то же время дополнительные затраты на магазины-накопители или дополнительные затраты живого труда растут пропорционально

количеству участков в линии и могут превзойти аналогичные затраты на основное технологическое оборудование. Поэтому максимальная надежность автоматических линий при $n_y = q$ может оказаться экономически столь же нерациональной, как и минимальная надежность. Автоматические линии должны компоноваться из условий оптимальной надежности, по критерию максимума производительности общественного труда.

При высоких требованиях к производительности необходим переход к многопоточным автоматическим линиям, которые, как правило, также делятся на участки-секции с помощью автоматических накопителей. При этом в зависимости от длительности рабочего цикла на различных участках число параллельных потоков в них также может быть различным, тем самым уравнивается производительность отдельных участков-секций.

В многопоточных линиях

$$p_i/T_i = \text{const},$$

где p_i — число параллельных потоков i -го участка; T_i — рабочий цикл i -го участка.

Если линия разделена на участки по методу равных потерь, то собственная (при независимой эксплуатации) производительность отдельных участков становится одинаковой.

Так как параллельные потоки обработки конструктивно независимы (рис. III-13), то производительность при p параллельных потоках выше по сравнению с однопоточной линией в p раз; расчет, как и для любых линий, целесообразно производить по выпускному участку. Производительность многопоточной линии

$$Q_{a.л} = \frac{p}{T} \frac{1}{1 + B(q/n_y)W},$$

где p — число потоков выпускного участка; T — длительность рабочего цикла выпускного участка; W — коэффициент возрастания простоев выпускного участка из-за неполной компенсации отказов предыдущих участков; n_y — число участков в линии; B — внецикловые потери одного станка (рабочей позиции); q — число рабочих позиций.

В тех случаях, когда равенство $p_i/T_i = \text{const}$ по каким-либо причинам не соблюдается и один из участков по собственной производительности является лимитирующим, необходимо определять производительность линии именно по этому участку.

Зависимость производительности многопоточных линий от числа участков имеет такой же характер, как и для однопоточных.

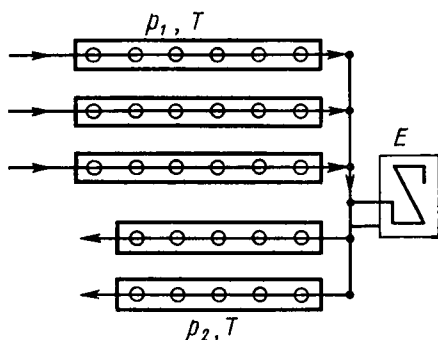


Рис. III-13. Структурная схема многопоточной многоучастковой автоматической линии:

p — число параллельных потоков; T — длительность рабочего цикла; E — емкость накопителя

Эксплуатационные исследования действующих автоматических линий позволяют прежде всего научно обобщать опыт их эксплуатации и тем самым создавать предпосылки для проектирования новых линий на более высоком уровне по показателям производительности, надежности, экономической эффективности. Кроме того, по результатам эксплуатационных исследований можно рассчитывать резервы повышения производительности действующих автоматических линий, выявлять возможности конкретных технико-организационных мероприятий для повышения производительности.

Анализ производительности действующих автоматических линий делится на следующие основные этапы:

1) проведение фактических наблюдений и замеров значений эксплуатационных параметров, которые по своей природе являются, как правило, случайными величинами (замеры точности обрабатываемых изделий, режимов обработки, стабильности перемещений, длительности рабочего цикла и отдельных его элементов, фотография работы линии, хронометраж простоев и занятости наладчиков и др.);

2) обработка полученного объема информации статистическими методами с проверкой достоверности;

3) расчет сопоставимых показателей работоспособности автоматических систем и их элементов как исходных данных для сравнительного анализа различных вариантов автоматических линий, расчета и проектирования новых линий;

4) расчет резервов повышения производительности исследуемых объектов в данных конкретных условиях производства.

Обязательным условием высокой эффективности таких исследований является обеспечение высокой достоверности полученных числовых значений параметров работоспособности, доведение результатов до минимального объема выходной информации, простая и наглядная интерпретация полученных результатов и инженерных выводов.

На первом этапе — этапе сбора и систематизации исходной информации о работоспособности автоматической линии наиболее трудоемкой является фотография работы линии, где в пределах планового фонда времени фиксируют все элементы затрат времени — как интервалы бесперебойной работы линии, так и простои, их время и длительность, причины, способы устранения неполадок и др. Исследования производят с помощью самопишущих приборов, которые, будучи подключенными к конструктивным элементам машин, регистрируют в едином масштабе времени чередование интервалов работы и простоев. Причины простоев, их виды и характер, наименование отказавших элементов, способы устранения неисправностей и другие недостатки фиксируются обычно специальными наблюдателями и заносятся в журналы или кодируются непосредственно на ленте самописца. Наблюдение производят по возможности непрерывно, в течение длительного периода времени — 12—15 рабочих смен и более.

Весьма трудоемкими и ответственными являются и замеры качества обрабатываемых изделий, которые определяют не только характеристики «мгновенного поля рассеивания» размеров, но и стабильности технологического процесса, что в конечном этапе предопределяет потери по браку, наладку и подналадку.

На втором этапе — этапе обработки — в конечном счете получают эксплуатационные характеристики автоматической линии: показатели фактической Q и технической Q_t производительности, общего и технического коэффициентов использования, коэффициента готовности, суммарных внецикловых потерь Σt_n и т. д. Основными документами, которые получают на первом этапе обработки информации и в дальнейшем служат основой для всех последующих расчетов по производительности, являются: фактическая циклограмма линии или отдельных ее участков; баланс затрат фонда времени, который показывает в процентах, какую часть планового фонда времени линия действительно работает и простаивает по всем возможным причинам. Проверка достоверности полученных значений эксплуатационных показателей производительности выполняется с применением известных в теории вероятностей методов по критериям согласия, доверительным интервалам и т. д.

На третьем этапе производится расчет таких параметров работоспособности, которые являются сопоставимыми для различных систем данного технологического назначения. Такие показатели, как, например, коэффициент технического использования линии, не являются сопоставимыми, так как они зависят от количества рабочих позиций и участков, особенно это относится к общему коэффициенту использования и др.

Сопоставимыми показателями являются: режимы обработки v_i на одинаковых операциях, коэффициент производительности η , средние внецикловые потери t_n и коэффициент технического использования $\eta_{ис}$ одного встроенного станка (рабочей позиции) в линии; удельный вес простоев различного вида в общих собственных простоях системы; коэффициент возрастания простоев W в многоучастковых линиях и др.

Важнейшие определяющие факторы при выборе конструктивных и структурных параметров автоматических линий, например число рабочих позиций, число участков-секций, параллельных потоков и т. д., при проектировании линий являются ожидаемыми величинами $[\Sigma C_i, \eta_{ис}, t_e, W]$ — см. формулы (III-30), (III-36), (III-39) и др.]. Их числовые прогнозируемые значения, а также и любые значения других показателей работоспособности как случайных величин нельзя установить вне эксплуатационных исследований действующего оборудования; поэтому необходимо постоянное проведение данных исследований.

Четвертый этап исследований имеет особую актуальность при оценке перспективности исследуемых автоматических линий с точки зрения постоянно растущих требований к производительности с увеличением производственной программы выпуска изделий.

В первом приближении резервы повышения производительности

путем интенсификации технологического процесса и сокращения всех видов потерь можно оценить с помощью баланса производительности [29], который показывает все факторы, определяющие производительность, потери производительности и их причины. Так как ни один вид потерь в процессе эксплуатации действующих автоматических линий не может быть сокращен до предела, до нуля, исследования должны показать, на какую конкретную величину можно реально сократить те или иные потери (по инструменту, оборудованию, оргпричинам,

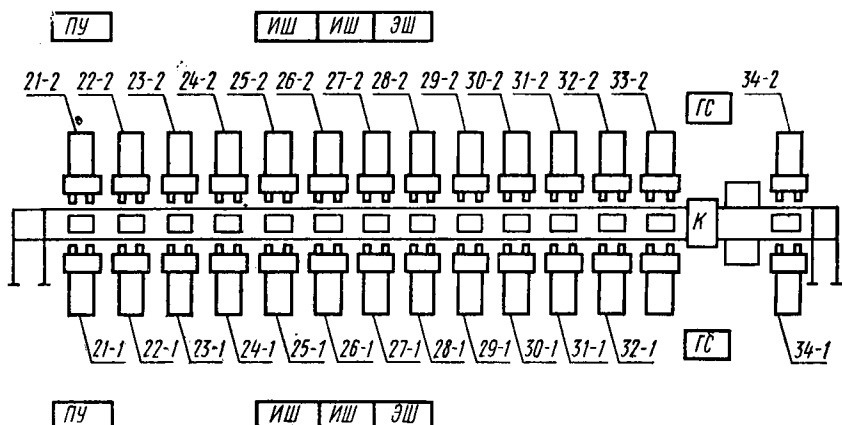


Рис. III-14. Планировка автоматической линии 1Л96В обработки блока цилиндров двигателя ЗИЛ-130:

ПУ — пульт управления; ЭШ — электрошкаф; ИШ — инструментальный шкаф; ГС — гидростанция; К — кантователь для удаления стружки из глухих отверстий; 21-1, 21-2 и т. д. — номера силовых головок

переналадке и др.). Поэтому математически рассчитывается возможный рост производительности φ_i при тех или иных мероприятиях, а также общие возможные резервы повышения производительности $\varphi_{\max}$. Более подробно методы анализа производительности рассмотрены в [9].

Рассмотрим методику на конкретных примерах.

На рис. III-14 приведена планировочная схема автоматической линии 1Л96В для обработки блока цилиндров V-образного двигателя автомобиля ЗИЛ-130. Полная обработка блока производится на системе многопоточных автоматических линий (1Л95—1Л99), каждая из которых представляет собой секцию из жестко заблокированных однопозиционных агрегатных станков, работающих «на проход» благодаря приспособлениям тоннельного типа. Общий вид одной из позиций с обрабатываемым изделием приведен на рис. III-3. Участки разделены автоматическими магазинами-накопителями. На линии 1Л96В производится сверление, зенкование, развертывание и расточка ряда отверстий, а также нарезание резьбы. Перемещение изделий из позиции в позицию производится шаговым транспортером с подпружи-

ненными собачками. Вместимость накопителя перед линией $E_1 = 117$ шт., после линии $E_2 = 44$ шт. изделий.

Фотография работы линии и хронометраж простоев проведены в течение 22 рабочих смен. На рис. III-15 показана построенная по результатам наблюдений диаграмма распределения относительной величины работы и собственных простоев (по сменам наблюдения).

Так, в первую смену ($N = 1$) из общего времени, когда линия обеспечена всем необходимым (не учитывая организационные простои), она работает $\theta_{p1} = 59\%$; собственные случайные простои составляют $\Sigma\theta_{сл1} = 30\%$, время технического обслуживания $\Sigma\theta_{п.з} = 11\%$. Баланс затрат планового фонда времени (с учетом всех простоев) за время наблюдения приведен в табл. III-2.

Длительность рабочего цикла согласно фактической циклограмме $T = 1,44$ мин; из них время рабочих ходов $t_p = 1,08$ мин. Коэффициент использования линии равен доле работы в балансе затрат фонда времени (по табл. III-2 $\eta_{ис} = 0,57$).

Коэффициент технического использования рассчитывается по формуле (III-8). Согласно табл. III-2 $\theta_p = 57,2\%$; собственные простои

$$\Sigma\theta_c = 6,8 + 1,3 + 6,0 + 4,2 + 0,2 = 17,5\%.$$

Отсюда

$$\eta_{а.л} = \frac{1}{1 + (\Sigma\theta_c/\theta_p)} = \frac{1}{1 + (17,5/57,2)}.$$

Фактическая производительность

$$Q = \frac{1}{T} \eta_{ис} = \frac{1}{1,44} \cdot 0,57 = 0,39 \text{ шт./мин} = 190 \text{ шт./см.}$$

Суммарные внецикловые потери

$$\Sigma t_{п} = \frac{\Sigma\theta_c}{\theta_p} T = \frac{17,5}{57,2} 1,44 = 0,44 \text{ мин/шт.}$$

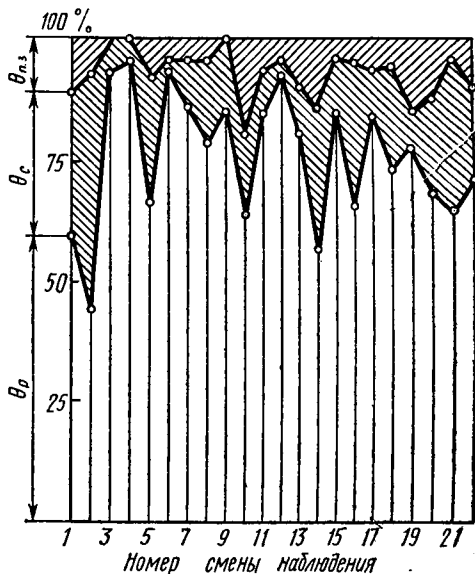


Рис. III-15. Диаграмма удельного веса работы и собственных простоев автоматической линии обработки V-образного блока цилиндров:

θ_c — время случайных простоев; $\theta_{п.з}$ — подготовительно-заключительное время, время технического обслуживания

Средние собственные внецикловые потери одного станка

$$t_n = \frac{\Sigma t_n}{q} = \frac{0,44}{14} = 0,03 \text{ мин/шт.}$$

Коэффициент технического использования одного станка, встроенного в линию,

$$\eta_{ис} = \frac{1}{1 + (t_n/T)} \cdot \frac{1}{1 + (0,03/1,44)} = 0,98.$$

Проведенные исследования однотипных линий из агрегатных станков отечественного и зарубежного производства показывают, что, несмотря

на большое конструктивное и технологическое разнообразие, такие показатели, $\eta_{ис}$, t_n , стабилизированы в достаточно узких пределах, о чем свидетельствует диаграмма (см. рис. IV-7). Как видно, среднее значение коэффициента использования $\eta_{ис} = 0,97$, что можно принимать в основу укрупненных расчетов при проектировании линий.

Коэффициент возрастания потерь W определяется сравнением собственных простоев линии θ_c с дополнительными $\Sigma \theta_{доп}$, которые происходят из-за отказов и простоев последующих и предыдущих участков (при переполнении или опустошении межоперационных накопителей):

$$W = \frac{\Sigma \theta_c + \Sigma \theta_{доп}}{\theta_c} = 1 + \frac{\Sigma \theta_{доп}}{\theta_c}. \quad (III-40)$$

Согласно табл. III-2 $\Sigma \theta_{доп} = 6,6 + 5,2 = 11,8\%$. $\Sigma \theta_c = 17,5$
Отсюда

$$W = 1 + \frac{11,8}{17,5} = 1,67.$$

Баланс производительности (рис. III-16) строится по данным фактической циклограммы и баланса затрат фонда времени.

Технологическая и цикловая производительность линии

$$K = \frac{1}{t_p} = \frac{1}{1,08} = 0,93 \text{ шт./мин} = 445 \text{ шт./см.};$$

$$Q_u = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,44} = 0,7 \text{ шт./мин} = 335 \text{ шт./см.};$$

$$\Delta Q_I = K - Q_u = 445 - 335 = 110 \text{ шт./см.}$$

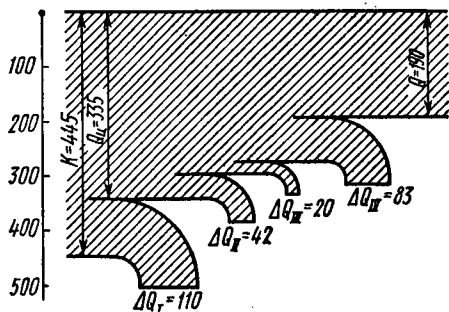


Рис. III-16. Баланс производительности автоматической линии блока цилиндров

Фактическая производительность

$$Q = Q_{\text{ц}} \eta_{\text{ис}} = 190 \text{ шт./см.} : \sum_{\text{II}}^{\text{IV}} \Delta Q = 335 - 190 = 145 \text{ шт./см.}$$

Эти суммарные потери производительности складываются из потерь по инструменту, оборудованию, организационным причинам, которые количественно пропорциональны числам 11,9:6,0:24,9.

Т а б л и ц а III-2

Элементы затрат времени	В % к фонду времени
Простои по инструменту:	
а) аварийная и текущая замена	6,8
б) регулировка	1,3
в) ожидание наладчика и хождение за инструментом	3,8
Всего по инструменту	11,9
Простои по оборудованию:	
а) силовые головки	1,7
б) шаговый транспортер	0,9
в) механизмы зажима и фиксации изделий	0,6
г) прочие	2,8
Всего по оборудованию	6,0
Простои по организационным причинам:	
а) из-за предыдущих участков	6,6
б) из-за последующих участков	5,2
в) подготовка к работе и уборка	4,2
г) контроль изделий	0,2
д) несвоевременный приход и уход рабочих и отсутствие заготовок в системе линий	8,7
Всего по организационным причинам	24,9
Итого простоев $\Sigma \theta_{\text{п}}$	42,8
Работа $\theta_{\text{р}}$	57,2
Фонд времени наблюдения θ	100

НАДЕЖНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Согласно общим положениям теории надежности — *надежность есть свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования*. Под объектами в теории надежности понимаются любые системы или элементы, имеющие определенное функциональное назначение. Система — это совокупность совместно действующих объектов, которая предназначена для самостоятельного выполнения заданных функций.

• Для автоматической линии заданной функцией является выпуск продукции заданного качества в требуемом количестве; надежность автоматических линий есть прежде всего их способность к бесперебойному выпуску годной продукции в размерах, обусловленных заданной производственной программой в течение всего срока службы.

В любом сочетании конструктивных, технологических, структурных решений, реализованных в конкретной автоматической линии, заложены потенциальные возможности повышения производительности и создания экономического эффекта по сравнению с неавтоматизированным производством.

Чем ниже надежность автоматических линий, тем выше потери производительности, тем больше разница между фактической и цикловой производительностью. Таким образом, надежность автоматических линий — это прежде всего степень повышения производительности и реализации потенциальных возможностей, заложенных в технологических процессах и конструкциях машин. Низкая надежность автоматических линий приводит не только к снижению производительности, но и к увеличению количества обслуживающих рабочих-наладчиков, увеличению затрат на ремонт и обслуживание.

Проблема надежности автоматических линий — это проблема создания высокопроизводительных автоматических систем машин с малыми потерями производительности, с минимальным количеством обслуживающих и ремонтных рабочих.

Надежность автоматических линий обуславливается их безотказностью, ремонтпригодностью, а также долговечностью отдельных механизмов, сопряжений и деталей. Чем реже возникают неполадки механизмов и устройств линии, выше стойкость инструмента, износо-

стойкость отдельных деталей и сопряжений, быстрее сроки восстановления работоспособности, короче сроки ремонта, т. е. чем реже собственные простои и меньше их длительность — тем выше надежность автоматической линии.

Любой объект (система или элемент) может быть в двух состояниях: работоспособном и неработоспособном. *Работоспособным* называется такое состояние автоматической линии, при котором она способна выполнять заданные функции — выпуск годной продукции, соответствующей техническим условиям. Событие, заключающееся в нарушении работоспособности, в переходе системы или элемента из работоспособного состояния в неработоспособное вследствие возникающих неполадок, называется *отказом*. При этом система или элемент считаются неисправными, если нарушено хотя бы одно из технических требований, однако не всякая неисправность приводит к неработоспособности — к отказам. Отказы различных элементов (механизмов, устройств, аппаратуры, инструмента) приводят к частичным или полным отказам всей системы — автоматической линии.

В автоматических линиях с жесткой межагрегатной связью отказ любого элемента — механизма, устройства, инструмента и т. п. приводит к отказу и простою всей системы.

В линиях, разделенных на участки межоперационными накопителями, такой отказ означает остановку, как правило, только одного участка. Таким образом, деление линии на участки является одним из важнейших методов создания относительно надежных систем из ненадежных элементов. В радиоэлектронике для этого широко применяется метод резервирования элементов и подсистем.

Согласно основным положениям теории надежности, автоматическая линия находится в состоянии отказа не только в том случае, если не срабатывает какой-либо элемент и не выдается продукция, но и при выдаче готовой продукции, которая не отвечает техническим условиям. В первом случае такие отказы называются отказами элементов, во втором — отказами параметров. Отказы элементов характеризуют надежность срабатывания (функционирования), отказы параметров — технологическую и точностную надежность.

Возникновение отказов, их обнаружение, устранение и предупреждение является случайными процессами, происходящими во времени. Поэтому все количественные показатели надежности имеют вероятностный характер и связывают между собой, как правило, в качестве аргумента — параметр времени (безотказной работы или восстановления работоспособности) и в качестве функции — вероятность состояния (работоспособное или неработоспособное). Согласно определению [23] надежность автоматических линий обуславливается их безотказностью, ремонтпригодностью, а также долговечностью элементов — механизмов, устройств, инструментов. Поэтому показатели надежности можно разделить на две категории: 1) частные показатели, которые оценивают только одну качественную сторону надежности, например только безотказность или только ремонтпригодность; 2) обобщенные, комплексные показатели, которые оценивают, например, и безотказность, и ремонтпригодность.

Количественные значения показателей надежности определяются, как правило, путем проведения испытаний на надежность элементов и систем в лабораторных или производственных условиях, их математической обработки методами теории вероятности и математической статистики. Тем самым определяется статистическое распределение исследований случайной величины и ее характеристики — математическое ожидание, среднее квадратичное отклонение и т. д. Опыт исследований технических систем различного вида показывает, что статистические распределения случайных величин — показателей без-

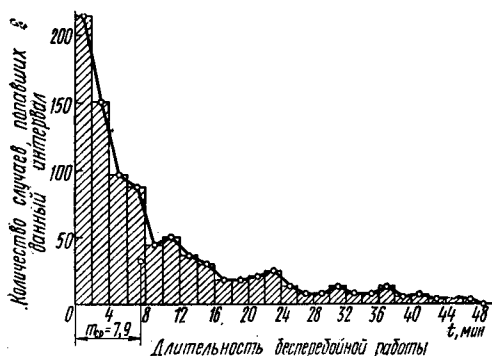


Рис. IV-1. Диаграмма распределения длительности безотказной работы линии поворотного кулака

отказности и ремонтпригодности — имеют сходный характер. Это позволяет аппроксимировать статистические распределения при помощи математических зависимостей, называемых математическими моделями отказов и восстановлений. Математические модели, описывающие те или иные показатели надежности, являются типовыми для различных технических систем или их элементов.

Согласно общим положениям теории надежности безотказность есть свойство

объекта (системы или элемента) сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Как показывают проведенные исследования, продолжительность безотказной работы автоматической линии t от включения до отказа есть величина случайная, которая изменяется в весьма широких пределах даже при стабильных условиях эксплуатации. В качестве примера на рис. IV-1 приведена диаграмма длительности безотказной работы типовой линии из агрегатных станков. Как видно, более чем в двухстах случаях линия выходит из строя, не проработав и двух минут; в пятидесяти случаях время безотказной работы составляет от 10 до 12 мин; безотказной работы продолжительностью более 50 мин не наблюдается. При стационарных условиях эксплуатации плотность вероятности безотказной работы обычно описывается экспоненциальным распределением:

$$f(t) = \frac{1}{m_{cp}} e^{-t/m_{cp}}, \quad (IV-1)$$

где m_{cp} — среднее время безотказной работы (в данном случае $m_{cp} = 7,9$ мин).

Согласно определению важнейшим показателем безотказности является вероятность P , что линия проработает без отказа время t после включения.

Функциональная зависимость вероятности безотказной работы P в течение времени t после пуска от длительности времени t называется функцией надежности и обозначается $P(t)$. На рис. IV-2 показана статистическая функция надежности автоматической линии из агрегатных станков согласно диаграмме распределения (см. рис. IV-1).

Математическое выражение, наиболее полно аппроксимирующее статистическую функцию надежности, имеет вид:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \omega(t) dt} \quad (IV-2)$$

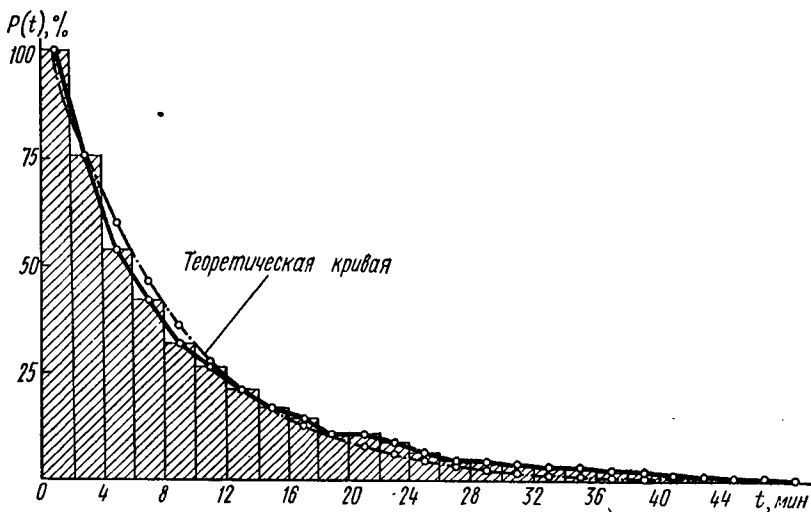


Рис. IV-2. Функция надежности линии поворотного кулака

где $\omega(t)$ — параметр потока отказов, который в общем виде также является величиной, зависящей от времени.

Параметр потока отказов $\omega(t)$ также является показателем безотказности, характеризующим частоту при эксплуатации линии. Он численно равен среднему математическому ожиданию количества отказов в единицу времени. Если время t выражено в рабочих циклах, величина $\omega(t)$ означает вероятность возникновения отказа при каждом срабатывании механизма или устройства, а также линии в целом.

Поток отказов в процессе эксплуатации линии не остается постоянным во времени, достигая наибольшей величины в периоды пуска и освоения, а также в предремонтные периоды. Однако длительность эксплуатационных исследований, при которых определяются показатели надежности, обычно намного меньше, чем длительность этих периодов. За время исследований (обычно 2—3 недели) не успевает измениться сколь-нибудь существенно ни степень изношенности оборудования, ни квалификация наладчиков. Поэтому в первом приближении всегда можно считать, что параметр потока отказов есть величина условно

постоянная для некоторого интервала длительности эксплуатации. Таким образом, если время накопления необходимой статистической информации об отказах существенно меньше того времени, когда может проявиться действие дестабилизирующих факторов, математические модели отказов упрощаются ($\omega = \text{const}$).

Величина, обратная параметру потока отказов, представляет собой среднее время безотказной работы, или, как часто называют, среднюю выработку на отказ [см. формулу (IV-1)]:

$$m_{\text{ср}} = 1/\omega. \quad (\text{IV-3})$$

При этих допущениях математическое выражение функции надежности упрощается:

$$P(t) e^{-\omega t} = e^{-t/m_{\text{ср}}}. \quad (\text{IV-4})$$

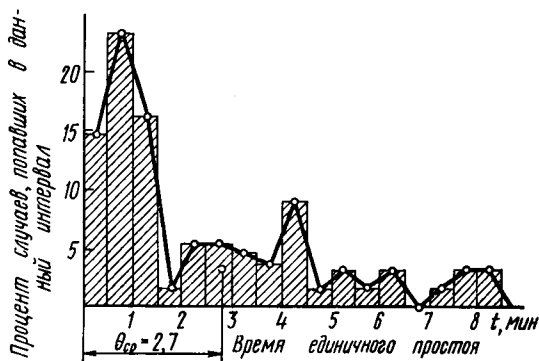


Рис. IV-3. Диаграмма распределения длительности единичных простоев токарного многошпиндельного автомата для смены и регулировки инструмента

Математическая кривая, соответствующая уравнению (IV-4), называется экспонентой, поэтому считают, что безотказность технических систем в простейшем случае распределена по экспоненциальному закону. В тех случаях, когда продолжительность наблюдений ΔN , необходимых для статистической оценки безотказности, настолько велика, что интенсивность отказов существенно изменяется за это время,

используют другие, более сложные математические модели отказов (распределения Вейбулла, Стьюдента и др.). Их математические уравнения, формулы для расчета статистических характеристик подробно рассмотрены в специальной литературе.

Показатели безотказности $P(t)$, ω , $m_{\text{ср}}$ в равной степени позволяют оценить как надежность срабатывания, так и технологическую (точностную) надежность. Так, для надежности срабатывания величина $P_1(t)$ означает вероятность того, что в машине за промежуток времени t не возникает никаких поломок, перекосов, заклиниваний, сгорания и других неисправностей механизмов, устройств и инструмента. Для технологической надежности величина $P_2(t)$ означает вероятность того, что за время t после размерной подналадки или замены инструмента не появится ни одной бракованной детали и не потребуются новой размерной подналадки или замены инструмента.

Имеется общая вероятность того, что автоматическая линия за время t после включения не будет иметь ни отказов элементов, ни отказов параметров, т. е. все механизмы, устройства, инструменты ока-

жуются работоспособными, а вся выпущенная продукция будет отвечать техническим требованиям $P(t)$.

Аналогично величина $m_{\text{ср}}$ для надежности срабатывания означает среднее количество циклов между двумя несрабатываниями механизма, для технологической надежности — среднее количество годовых деталей между двумя бракованными (возможно — среднее количество рабочих циклов между двумя размерными подналадками).

Ремонтпригодность объекта — свойство, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Как показывают проведенные исследования, продолжительность даже идентичных простоев распределяется в весьма широких пределах. В качестве примера на рис. IV-3

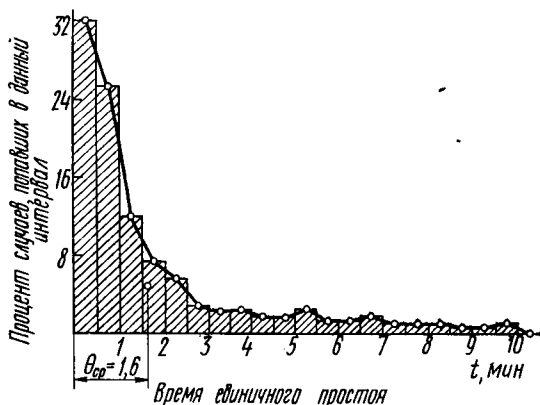


Рис. IV-4. Диаграмма распределения длительности единичных простоев линии картера сцепления

показана диаграмма распределения длительности единичных простоев токарного многошпиндельного автомата для смены и регулировки инструмента. Как видно, это время составляет в некоторых случаях менее 0,5 мин, в других — до 10 мин. Наиболее часты простои длительностью около одной минуты (инструмент с предварительной настройкой на размер вне станка).

Обычно считается, что длительность восстановления работоспособности, как и длительность безотказной работы, описывается экспоненциальным распределением:

$$f(t) = \frac{1}{\theta_{\text{ср}}} e^{-t/\theta_{\text{ср}}}, \quad (\text{IV-5})$$

где $\theta_{\text{ср}}$ — среднее время восстановления работоспособности (в данном случае по рис. IV-3 $\theta_{\text{ср}} = 2,7$ мин); $f(t)$ — плотность вероятности восстановления работоспособности за время t .

Такая математическая модель справедлива прежде всего для автоматических линий в целом как совокупности большого количества станков, механизмов и устройств, аппаратуры управления и инструментов, каждый из которых имеет свои закономерности восстановления работоспособности. Иллюстрацией может служить диаграмма распределения длительности единичных простоев линии картера сцепления для устранения случайных отказов (рис. IV-4).

Величина $\theta_{\text{ср}}$ — среднее время обнаружения и устранения отказа — является наиболее удобным показателем ремонтпригодности (восстанавливаемости).

Важнейшим фактором надежности автоматических линий является их долговечность, которая определяется как свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Предельное состояние обусловливается не только физическим, но и моральным износом, когда дальнейшая эксплуатация линии становится экономически нецелесообразной даже при ее технической пригодности.

Поток отказов в процессе эксплуатации линии не остается постоянным во времени и постепенно возрастает ввиду прогрессирующего износа, потери геометрической точности, жесткости и т. д., пока не достигает уровня, при котором машина уже не может обеспечить требуемый уровень производительности и выводится в ремонт. Чем длительнее периоды стабильной эксплуатации и больше общее количество выпущенной продукции, тем выше долговечность машины. С этой точки зрения долговечность определяется длительностью периодов эксплуатации, в течение которых в машине поддерживается допустимый уровень безотказности.

Как видно, показатели безотказности и ремонтпригодности являются «мгновенными» параметрами надежности, т. е. характеризуют уровень надежности в некоторые конкретные моменты времени в зависимости от состояния системы на данном этапе. Долговечность машин характеризует во времени изменение показателей безотказности под влиянием различного рода воздействий (изнашивание, потеря усталостной прочности, коррозия, изменение физико-химических свойств материалов и т. д.). Поэтому часто понятие надежности употребляют прежде всего по отношению к безотказности и восстанавливаемости, считая долговечность равноправным свойством системы, которая характеризуется «и надежностью, и долговечностью».

Важнейшим критерием оценки долговечности в теории надежности принят технический ресурс R , равный суммарной наработке за весь срок службы — от ввода в эксплуатацию до разрушения или иного предельного состояния, определяемого физическим или моральным износом. Как и другие частные показатели надежности, этот ресурс может быть выражен либо в чистом проработанном времени, либо в суммарном количестве деталей, выпущенных за весь срок эксплуатации.

Для восстанавливаемых систем многократного действия, к которым относятся и автоматические линии, величина общего ресурса R — срока службы как характеристики долговечности — является явно недостаточной. Длительные сроки службы могут обеспечиваться за счет частных планово-предупредительных ремонтов, когда продукция не выдается, т. е. производительность линии оказывается низкой. Поэтому показателем долговечности является и длительность межремонтных периодов, их относительная продолжительность в общем сроке службы линии. Как показывает опыт эксплуатации автоматических линий различного технологического назначения, основной

причиной выведения оборудования в планово-предупредительный ремонт является ухудшение технологической надежности, т. е. потеря показателей точности вследствие износа деталей, потери геометрической точности и жесткости узлов.

Комплексными показателями надежности являются: собственные внецикловые потери Σt_n и коэффициент технического использования $\eta_{\text{тех}}$, которые одновременно являются и важнейшими параметрами теории производительности.

Собственные внецикловые потери характеризуют и безотказность, и ремонтпригодность:

$$\Sigma t_n = \omega \theta_{\text{ср}} / T = \theta_{\text{ср}} / (m_{\text{ср}} T), \quad (\text{IV-6})$$

где ω — параметр потока отказов; $\theta_{\text{ср}}$ — среднее время обнаружения и устранения отказов; T — длительность рабочего цикла.

Если параметры потока отказов определяются по отношению не к календарному времени (например, в минутах), а к количеству рабочих циклов, внецикловые потери

$$\Sigma t_n = \omega_{\text{ц}} \theta_{\text{ср}}, \quad (\text{IV-7})$$

где $\omega_{\text{ц}}$ — вероятность отказа линии при каждом рабочем цикле, 1/цикл.

Коэффициент технического использования согласно определению [см. гл. III, формулу (III-8)]

$$\eta_{\text{тех}} = \frac{1}{1 + (\Sigma t_n / T)} = \frac{1}{1 + (\theta_{\text{ср}} / m_{\text{ср}})} = \frac{1}{1 + \omega_{\text{ц}} \theta_{\text{ср}}}. \quad (\text{IV-8})$$

Таким образом, коэффициент технического использования также является «мгновенным» показателем надежности, характеризует и безотказность, и ремонтпригодность линии в конкретные периоды ее эксплуатации.

§ 2. ЗАВИСИМОСТЬ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ОТ НАДЕЖНОСТИ

Как уже известно, повышение надежности позволяет, с одной стороны, повысить производительность автоматических линий, с другой — уменьшить количество обслуживающих рабочих и тем самым снизить себестоимость обрабатываемых изделий, повысить экономическую эффективность автоматизации.

Зависимость производительности линий от их надежности в работе получаем из общей формулы производительности (III-6)

$$Q = 1 / (T + \Sigma t_n),$$

где T — длительность рабочего цикла; Σt_n — внецикловые потери (простои, приходящиеся на единицу изделия).

Если учитывать только собственные внецикловые потери согласно формуле (IV-7),

$$Q = 1 / (T + \omega_{\text{ц}} \theta_{\text{ср}}), \quad (\text{IV-9})$$

Как видно, техническая производительность автоматических линий определяется тремя факторами: длительностью рабочего цикла, интенсивностью отказов, длительностью их обнаружения и устранения. На рис. IV-5 показана зависимость производительности линии от параметров потока отказов и длительности рабочего цикла. Возрастание потока отказов приводит к монотонному снижению производительности. Особенно такая тенденция проявляется при коротких рабочих циклах, что характерно для многопозиционных автоматов и автоматических линий.

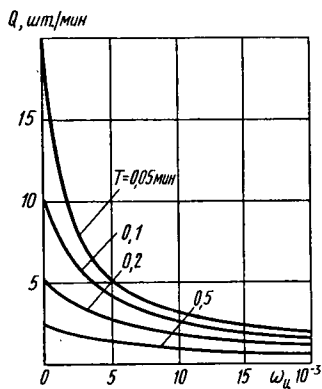


Рис. IV-5. Производительность автоматических линий в зависимости от интенсивности отказов

Обобщение результатов эксплуатационных исследований показывает, что оптимальным значением интенсивности обслуживания является устранение одним наладчиком в среднем 10—12 отказов в час. Таким образом, в первом приближении можно принимать, что если автомат, встроенный в линию, имеет за час в среднем 5—6 отказов, норма обслуживания одного наладчика $z = 2$ автомата.

Наиболее простая зависимость технико-экономических показателей автоматических линий от надежности существует для линий, создаваемых из типового оборудования, которые создаются путем оснащения станков механизмом автоматической загрузки и выгрузки изделий — автооператорами, системами межстаночной транспортировки, накопления заделов, управления и т. д. Эти линии komponуются, как правило, с гибкой межагрегатной связью.

При автоматизации производительность оборудования линии повышается в φ раз, количество обслуживающих рабочих изменяется в ε раз, цена оборудования ввиду дополнительных затрат на автоматизацию увеличивается в σ раз.

Производительность без учета наложения потерь

$$Q_0 = 1/(T + \sum t_n) = (1/T) \eta_{исп},$$

где T — длительность рабочего цикла; $\sum t_n$ — собственные внецикловые потери по инструменту и оборудованию; $\eta_{исп}$ — коэффициент технического использования.

После блокирования станка в автоматическую линию длительность рабочего цикла может измениться на величину ΔT ; появятся дополнительные простои из-за отказов механизмов автоматизации, характеризующиеся величинами $\omega_{ц}$ и $\theta_{ср}$.

Производительность без учета наложения потерь

$$Q = \frac{1}{T + \sum t_n + \Delta T + \omega_{ц} \theta_{ср}} = \frac{1}{(1/Q_0) + \Delta T + \omega_{ц} \theta_{ср}}. \quad (IV-10)$$

Изменение производительности при встраивании станка в линию

$$\varphi = \frac{Q}{Q_0} = \frac{1}{1 + Q_0 (\Delta T + \omega \theta_{\text{ср}})} = \frac{1}{1 + (\eta_{\text{ис}}/T) (\Delta T + \omega \theta_{\text{ср}})} \quad (\text{IV-11})$$

Затраты ручного труда в поточной линии в единицах зарплаты одного оператора в расчете на один станок

$$T_{\text{ж1}} = 1/z_1 + 1/z_2 \psi, \quad (\text{IV-12})$$

где z_1 — норма обслуживания оператора; z_2 — норма обслуживания наладчика; ψ — коэффициент, отражающий различие в зарплате наладчика и оператора (в линиях подшипниковой промышленности $\psi = 1,3-1,4$).

После создания автоматической линии норма обслуживания оператора обычно резко увеличивается, а норма наладчика — сокращается; в результате затраты ручного труда на один станок

$$T_{\text{ж2}} = \frac{1}{z_1 \beta} + \left(\frac{1}{z_2} + \frac{\omega_{\text{н}} 60 \eta_{\text{ис}}}{12T} \right) \psi, \quad (\text{IV-13})$$

где β — коэффициент увеличения нормы обслуживания оператора.

Увеличение зарплаты наладчика определяется в соответствии с формулой интенсивностью обслуживания. Сокращение затрат ручного труда

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{ж1}}}{T_{\text{ж2}}} = \frac{(1/z_1) + (1/z_2) \psi}{(1/z_1 \beta) + (1/z_2) \psi + 5 (\omega_{\text{н}} \eta_{\text{ис}}/T) \psi}.$$

Максимальное (номинальное) сокращение затрат ручного труда возможно, если дополнительные механизмы автоматизации (автосоператоры, накопители, транспортеры-распределители, подъемники, система их управления и т. д.) абсолютно надежны в работе ($\omega_{\text{н}} = 0$). Тогда

$$\varepsilon = \frac{(1/z_1) + (1/z_2) \psi}{(1/z_1 \beta) + (1/z_2) \psi}. \quad (\text{IV-14})$$

Преобразовывая формулу (IV-14), получаем

$$\varepsilon = \frac{1}{(1/\varepsilon_{\text{ном}} + 5) (\eta_{\text{ис}}/T) (z_1 z_2 / z_1 \psi + z_2)}. \quad (\text{IV-15})$$

Очевидно, что при $\omega = 0$ $\varepsilon = \varepsilon_{\text{ном}}$.

Зная функциональные зависимости изменения производительности и количества обслуживающих рабочих от надежности механизмов автоматизации, т. е. $\varphi = f_1(\omega_{\text{н}})$ и $\varepsilon = f_2(\omega_{\text{н}})$, можно определить зависимость сроков окупаемости влияния на автоматизацию от надежности согласно формуле (II-22)

$$n = \frac{K(\sigma - \varphi)}{m\varphi(1 - \delta) + \varphi - (1/\varepsilon)}. \quad (\text{IV-16})$$

На рис. IV-6 показаны графики зависимости показателей производительности и сроков окупаемости от надежности механизмов авто-

матизации. Они построены для типовых условий линий подшинниковой промышленности, а именно: коэффициент технического использования одного полуавтомата в поточной линии $\eta_{ис} = 0,85$; длительность рабочего цикла $T = 1$ мин, норма обслуживания оператора в поточной линии $z_1 = 1$ станок, норма наладчика — 5 станков ($z_2 = 5$),

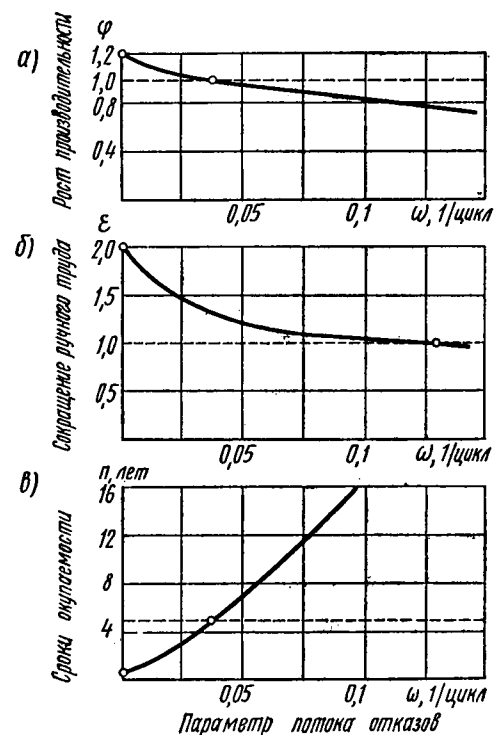


Рис. IV-6. Зависимость технико-экономических показателей линий из типового оборудования от надежности механизмов автоматизации:

а — изменение производительности; б — изменение количества обслуживающих рабочих; в — сроки окупаемости затрат на автоматизацию

зарплата наладчика в 1,3 раза выше зарплаты оператора ($\psi = 1,3$), отношение стоимости станка к годовому фонду зарплаты рабочих $K = 3$, $m = 0,8$.

Показатели автоматизации: дополнительные затраты на создание автоматической линии составляют 30% стоимости основного оборудования ($\sigma = 1,3$), количество операторов в линии сокращается в три раза ($\beta = 3$), длительность рабочего цикла автоматизированных станков сокращается на 9 с ($\Delta T = -0,15$ мин) и т. д. Графики значений ϕ , ϵ и n , построенные по формулам (IV-11), (IV-15) и (IV-16), показывают что при высокой надежности ($\omega \rightarrow 0$) эффективность создаваемых автоматических линий увеличивается: производительность повышается в $\phi_{ном} = 1,2$ раза, затраты ручного труда сокращаются в $\epsilon_{ном} = 2,1$ раза, расходы на автоматизацию окупаются менее чем за год.

Однако дополнительные отказы механизмов автоматизации резко отрицательно влияют на все показатели эффективности. Уже при

$\omega = 0,04$ линия не дает выигрыша производительности из-за дополнительных простоев; при $\omega = 0,12$ общая зарплата обслуживающего персонала на автоматической линии выше, чем на поточной из-за резкого увеличения количества наладчиков; сроки окупаемости катастрофически растут и уже при $\omega = 0,05$ превышают допустимые ($n = 5$ лет). Поэтому автоматизация эффективна только при условии, что внедряемые механизмы автоматизации будут иметь надежность в определенных, допустимых пределах.

§ 3. РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Выше отмечалось, что важнейшие технологические, конструктивные, структурные и эксплуатационные параметры автоматических линий при их проектировании выбираются по критериям производительности, надежности, экономической эффективности (число рабочих и холостых позиций, параллельных потоков обработки, участков-секций; тип и вместимость межоперационных накопителей, количество обслуживающих рабочих, система замены инструмента и т. д.)

При этом числовые значения показателей надежности встроенного оборудования, механизмов и устройств, аппаратуры и инструмента в процессе проектирования выступают как ожидаемые, прогнозируемые величины. От того, какой будет принята числовая величина этих показателей, зависит и структура проектируемой линии (см. гл. IX), и количество наладчиков [9].

Расчет ожидаемых показателей надежности линии после выбора ее основных параметров должен дать ответ на вопрос, будет ли проектируемая линия обеспечивать заданную производственную программу выпуска изделий.

Фактическая производительность автоматических линий определяется длительностью их рабочего цикла и величиной внецикловых потерь. Согласно формуле (III-6) производительность линии

$$Q = \frac{1}{T} \eta_{a.l} = \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{1 + (\Sigma t_{\text{п}}/T)} = \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{1 + \Sigma B},$$

где $\Sigma t_{\text{п}}$ и ΣB — суммарные внецикловые потери линии; T — рабочий цикл; $\eta_{a.l}$ — коэффициент использования автоматической линии.

Так как длительность рабочего цикла в проекте является расчетной величиной, то ожидаемая фактическая производительность линии определяется оценкой ее коэффициента использования. При достаточно полной загрузке линии ($\eta_a \rightarrow 1$) ее производительность зависит прежде всего от ее надежности в работе.

Для того чтобы автоматическая линия смогла обеспечить заданную по проектному заданию производительность, необходимо на стадии проектирования хотя бы в первом приближении оценить, какую надежность в работе будет иметь создаваемая автоматическая линия, т. е. ожидаемые значения ω , $\theta_{\text{ср}}$, $\eta_{\text{тех}}$ и т. д.

Согласно обобщенной формуле производительности (III-37) суммарные собственные потери системы автоматической линии зависят, с одной стороны, от надежности встроенного оборудования (станков, транспортных систем), с другой — от структурной схемы линии, вида межагрегатной связи (жесткой, гибкой и т. д.).

В свою очередь надежность подсистем (станков, встроенных в линию транспортных механизмов и др.) зависит от надежности тех элементов, из которых они скомпонованы. Таким образом, для прогно-

зирования производительности и надежности проектируемых автоматических линий необходимо:

1) определить ожидаемую величину показателей надежности элементов: механизмов, устройств, инструментов, аппаратуры управления и т. д.;

2) определить величину показателей надежности B_i подсистем — встроенных станков, потери которых складываются из суммы потерь всех элементов;

3) определить ожидаемые показатели надежности системы линии в целом

$$\sum B = B(q/n_y)W = B(q/n_y)[1 + \Delta(n_y - 1)],$$

где B — потери одного станка, встроенного в линию; q — число станков в линии; n_y — число участков, на которые разделена линия; W — коэффициент возрастания потерь из-за неполной их компенсации накопителями; Δ — коэффициент межучасткового положения потерь.

Таким образом, для прогнозирования надежности проектируемых автоматических линий необходимо прежде всего знать ожидаемые числовые значения показателей надежности встраиваемых станков, механизмов и устройств.

Необходимые числовые значения можно получить путем испытаний на надежность данных или сходных изделий в лабораторных или производственных условиях. Объектами таких испытаний могут быть: 1) образцы, когда необходимо определить долговечность конструкционных материалов, износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость; 2) сопряжения и кинематические пары, если дополнительно необходимо выявить влияние конструктивных и технологических факторов на показатели надежности; 3) отдельные устройства и узлы машин, когда необходимо выявить влияние их взаимодействия или внешних условий эксплуатации на показатели надежности; 4) машины, если необходимо определить степень влияния на показатели надежности режимов работы, условий эксплуатации и т. д.; 5) автоматические линии в целом, что дает возможность оценить весь комплекс факторов, влияющих на надежность.

Испытания образцов, сопряжений, механизмов и устройств производятся в лабораториях (стендовые испытания). Испытания автоматов и автоматических линий в соответствии с изложенными задачами проводятся в условиях эксплуатации (производственные испытания).

Оба вида испытаний обладают достоинствами и недостатками. Стендовые испытания проводятся в условиях активного эксперимента с широким варьированием значений определяющих параметров. Однако при этом не удастся воспроизвести тот комплекс воздействий, который характерен для условий эксплуатации. Например, в реальных условиях эксплуатации автоматических линий обработки тел вращения наименее надежными являются механизмы автоматической загрузки и объема изделий — автооператоры [10].

Основными причинами отказов являются такие циклически действующие факторы, как забивание рабочей зоны стружкой, нестабиль-

ность размеров заготовок, величин перемещений механизмов, а также монотонно действующие факторы — изнашивание сопряжений. При испытании автооператора на стенде вне станка, без стружки и без реальных заготовок в течение значительного периода времени автооператор может вообще не иметь отказов в работе, пока не начнет проявляться влияние износа, для чего необходим длительный период работы. Для этого автооператора истинные показатели надежности можно выявить лишь при наличии всего комплекса внешних воздействий, которые предполагают и наличие взаимодействующих механизмов: механизмов зажима, поворота и фиксации блока, суппортов, распределительного вала, инструментальной оснастки и т. д. Таким образом, чтобы получить достоверные данные о надежности одного элемента машины (например, автооператора), необходимо по существу испытывать всю машину.

Несколько более благоприятны условия стендовых испытаний аппаратуры управления — электрических, гидравлических, пневматических устройств. Здесь проще имитировать как рабочие параметры (ток, напряжение, давление и их перепады), так и спектр внешних воздействий (температура, влажность, запыленность окружающей среды и т. д.).

Одной из важнейших проблем эффективности стендовых испытаний является получение максимального объема информации о надежности за минимальный отрезок времени.

Ускорение в условиях активного эксперимента (метод ускоренных испытаний) испытаний механизмов, устройств и аппаратуры позволяет обеспечивать следующие факторы:

1) повышение интенсивности срабатывания элементов по сравнению с реальными условиями. Так, механизмы зажима и фиксации в линиях из агрегатных станков срабатывают через 1,0—2,0 мин, хотя время срабатывания составляет несколько секунд. При стендовых испытаниях частота срабатывания может быть повышена во много раз без изменения собственных параметров работы механизма. Кроме того, может быть увеличен фонд времени работы по сравнению с производственными условиями (круглосуточные испытания, особенно по показателям долговечности), сокращены до минимума организационные простои;

2) ужесточение режимов работы (скоростей обработки, температур, и т. д.), однако в определенных пределах, чтобы сохранить физическую природу отказов; необходимо учитывать, что изменение условий работы может вызвать нелинейное изменение значений показателей надежности.

Однако стендовые испытания на надежность, в том числе ускоренные, могут дать более или менее достоверную информацию главным образом о безотказности элементов, а также сроках службы, скоростях изнашивания, коррозионной стойкости и т. д.

Ускоренные стендовые испытания нашли широкое применение при исследовании работоспособности кинематических пар и сопряжений, элементов электрической, электронной, гидравлической, пневматической аппаратуры, режущих инструментов и т. д.

Между тем для оценки ожидаемой надежности проектируемых систем необходимо знать прежде всего числовые значения комплексных показателей надежности (собственных внецикловых потерь, коэффициентов технического использования, коэффициентов готовности и др.).

Основным источником информации об ожидаемой надежности узлов, механизмов и устройств машин в целом является обобщение результатов эксплуатационных исследований действующих автоматических линий в производственных условиях. Каждая автоматическая линия характеризуется в настоящее время уникальным, невоспроизводимым сочетанием технологических, конструктивных, структурных и эксплуатационных параметров. Поэтому полученный объем информации о надежности действующих линий представляет интерес с точки зрения ее прогнозирования для новых линий лишь для оценки типовых элементов, которые будут повторяться в новых линиях.

Достоинством производственных испытаний на надежность является прежде всего реальность полученных характеристик надежности, определяемых всем спектром внешних воздействий, который никогда не может быть воспроизведен в полной мере в лабораторных условиях. Накоплению объема информации способствует одновременное наблюдение за работой большого количества однотипных элементов, что позволяет исключить влияние нестабильности условий их изготовления, монтажа, наладки, обслуживания.

Однако производственные исследования работоспособности действующих автоматических линий проводятся в условиях пассивного эксперимента, без варьирования значений определяющих параметров. Серьезным недостатком является наличие больших сроков между проектированием линии и получением достоверной информации о надежности конструктивных, технологических, эксплуатационных решений, заложенных в ней.

На проектирование, изготовление, монтаж и отладку, пуск и освоение автоматической линии, стабилизацию ее работы уходит обычно несколько лет. Если к этому добавить длительность производственных испытаний, обработки и систематизации полученной информации о надежности, то часто оказывается, что в новых линиях, которые должны к этому времени проектироваться, будут использованы уже другие, более современные конструктивные элементы, т. е. информация о надежности морально устаревает. Особенно это относится к элементам современных систем управления станков и автоматических линий, которые непрерывно совершенствуются на основе развития приборостроения, автоматики и электроники (реле, пускатели, переключатели, логические элементы, трансформаторы, конечные выключатели и др.).

Поэтому для получения достоверных исходных данных при расчете ожидаемой надежности проектируемых систем необходимо сочетание информации, полученной методами стендовых и производственных испытаний.

Как правило, в момент проектирования новой линии имеется следующая информация о надежности элементов систем управления:

1) паспортные значения показателей безотказности ω_c' известных элементов, использованных в действующих линиях; 2) фактические показатели безотказности ω_c'' известных элементов согласно данным эксплуатационных исследований действующих автоматических линий; 3) паспортные показатели безотказности ω_n' новых, перспективных элементов, которые могут быть применены в новых, проектируемых линиях.

Так как для известных элементов аппаратуры $\omega_c' \neq \omega_c''$, т. е. в эксплуатационных условиях показатели безотказности имеют иные значения, чем испытания в период освоения на предприятии-изготовителе, то можно предполагать, что и для новых перспективных элементов аппаратуры управления следует ожидать в условиях работы линии иных показателей безотказности, чем ω_n' . Оценку уровня ожидаемой надежности ω_n'' в новых линиях можно уточнить путем проведения совместных ускоренных стендовых испытаний известных и новых элементов в идентичных условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации. Анализ результатов этих стендовых испытаний при условии одинаковой физической природы явлений отказов обеих категорий сравниваемых элементов с применением корреляционных методов дает возможность предвидеть, каковы будут показатели надежности новых элементов систем управления при использовании их в новых проектируемых линиях.

Очевидно, чем выше технологическая и конструкторская новизна проектируемых автоматических линий, тем менее достоверные результаты дают опытно-статистические методы расчета ожидаемой надежности, тем выше объем стендовых испытаний элементов, механизмов и устройств, в первую очередь технологических механизмов, механизмов ориентации, загрузки и съема изделий и т. д.

Наиболее достоверными являются расчеты ожидаемых показателей надежности, если станки и автоматические линии намечено компоновать в основном из нормализованных элементов, механизмов и узлов, которые имеют достаточно стабильную конструкцию, выпускаются в массовом количестве, применяются в системах различного технологического назначения.

Здесь нет необходимости расчленять, например, силовую агрегатную головку на элементы типа подшипников, зубчатых колес, клапанов, дросселей, цилиндров, конечных выключателей, а целесообразно определить статистическим путем надежность всей головки как единой системы. То же самое относится к транспортерам, поворотным столам, контрольным устройствам и агрегатным станкам. Данные по их ожидаемой надежности тем более достоверны, поскольку основываются на очень обширном статистическом материале, так как однотипные конструкции широко распространены.

В зависимости от требуемой точности окончательных результатов, расчеты ожидаемой надежности проектируемых линий могут быть укрупненными (упрощенными) или уточненными (подробными). Например, при расчете оптимального числа участков линии высокой точности определения суммарных потерь линии не требуется; в качестве исходных данных могут быть использованы укрупненные зна-

чения, полученные путем обобщения результатов эксплуатационных исследований.

На рис. IV-7 показана диаграмма распределения значений коэффициентов технического использования $\eta_{ис}$ агрегатных станков, встроенных в различные автоматические линии на ЗИЛе и АЗЛК. При определении коэффициента технического использования каждого станка учтены потери двух агрегатных головок (по механизмам и инструменту), приспособления (механизм зажима и фиксации) и потери шагового транспортера, отнесенные к одной позиции. Диаграмма показывает, что, несмотря на разнообразие технологического назначения и режимов работы, надежность агрегатных станков стабильно группируется в достаточно узких пределах. Средний коэффициент использования одного агрегатного станка, встраиваемого в линию, согласно данным диаграммы равен 0,97, что и можно принимать за основу ожидаемой надежности, укрупненных расчетов ожидае-

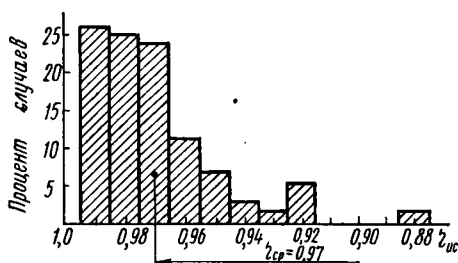


Рис. IV-7. Диаграмма распределения значений коэффициентов использования агрегатных станков, встроенных в автоматические линии

мой надежности ($B = 0,03, \eta_{ис} = 0,97$).

Более высокой степени точности расчетов ожидаемой надежности можно достичь, если дифференцировать исходные данные применительно к станкам различного технологического назначения, встраиваемым в линию, что требует уже знания технологического маршрута обработки, распределения его по рабочим позициям.

Средние показатели надежности агрегатных станков различного назначения как исходные данные для расчета ожидаемых показателей надежности проектируемых автоматических линий приведены в табл. IV-1.

Таблица IV-1

Операции, выполняемые на агрегатном станке	Показатели надежности	
	внецикловые потери B	коэффициент использования $\eta_{ис}$
Сверление	0,02—0,04	0,96—0,98
Фрезерование	0,02—0,03	0,97—0,98
Расточка	0,02—0,04	0,96—0,98
Нарезание резьбы	0,02—0,03	0,97—0,98
Прочие	0,01—0,02	0,98—0,99

Так как показатели надежности зависят от интенсивности работы линии (длительности рабочего цикла), минимальные значения B относятся к линиям с длительностью рабочего цикла 0,5—1 мин и ме-

нее, минимальные — к линиям с длительностью цикла 1,0—2,0 мин и более.

Дальнейшее уточнение расчетов ожидаемой надежности может быть достигнуто при дифференциации исходных данных по отдельным узлам и механизмам, видам инструмента, времени технического обслуживания и т. д. (поузловой метод расчета).

Такие показатели надежности унифицированных узлов, как исходные данные для прогнозирования надежности проектируемых автоматических линий, также получаются путем анализа и обобщения данных эксплуатационных исследований действующих автоматических линий. В табл. IV-2 приведены данные по надежности некоторых типовых узлов автоматических линий (при обработке на приспособлениях-спутниках) [16].

Таблица IV-2

Узлы	Ожидаемые внецикловые потери $t_{п}$ 10^{-3} , мин/цикл
Силовой стол с многошпиндельной коробкой для сверлильных операций	0,3
Приспособление для зажима и фиксации приспособлений-спутников	2,0
Приспособление-спутник с зажимным устройством	0,5
Станция зажима и разжима изделий на спутниках	1,43
Транспортер возврата спутников	20,0
Насосная станция	1,0
Кантователь для спутников	1,0

Имея такие исходные данные t_{ni} для всех узлов, можно рассчитывать общие ожидаемые простои и внецикловые потери линии из-за отказов механизмов и устройств t_e :

$$t_e = t_{п1} + t_{п2} + t_{п3} + \dots \quad (IV-17)$$

Потери по инструменту ΣC_i рассчитывают по ожидаемым показателям стойкости, времени замены, времени участия в обработке одного изделия. Так, потери i -го инструмента для его смены при проектных режимах обработки

$$C_i = a_i t_i / T_{0i} \quad (IV-18)$$

где a_i — время обработки изделия i -м инструментом; t_i — время замены i -го инструмента при его поломке или затуплении, мин; T_{0i} — стойкость i -го инструмента при проектных режимах, мин.

Величину a_i берут из технологической карты обработки, величину стойкости T_{0i} — из справочников или из данных эксплуатационных исследований действующих линий, время замены — из специальных таблиц [16] типовых ожидаемых значений (табл. IV-3).

Инструмент	Время замены, мин		Время подналадки, мин
	при наличии кондукторной плиты	без кондукторной плиты	
Спиральное сверло	1,0	0,2	—
Метчик	1,0	0,2	0,5
Зенкер	1,5	0,3	1,0
Чистовой резец	2,0	1,5	1,5
Торцовая фреза	—	6,0	2,0
Дисковая, консольная фреза	—	—	5,0

Результаты расчетов по формуле (IV-18) означают ожидаемые потери линии из-за смены i -го инструмента вследствие потери режущих свойств или размерной стойкости (плановая замена). К ним необходимо прибавить потери из-за подналадки инструментов без их замены C_i'' и потери из-за аварийной замены C_i''' (поломки, выкрашивание режущих кромок и т. д.). Величина потеря из-за подналадки определяется по той же формуле (IV-18), только величина T_i означает уже не стойкость, а интервал времени (в мин) чистой работы между двумя размерными подналадками, а t_i — время подналадки. Время подналадок для некоторых типов инструментов приведено в табл. IV-3.

Обобщение опыта эксплуатации типовых линий показывает, что можно статистически прогнозировать и ожидаемые потери из-за поломок C_i''' по формуле (IV-19), аналогичной формуле (IV-18):

$$C_i''' = \frac{(a_i t_i)}{(T_{oi} s)}, \quad (\text{IV-19})$$

Здесь t_i — время замены инструмента при его поломке (время обнаружения и устранения отказа), s — наработка на отказ в периодах стойкости инструмента T_{oi} ; a_i — время обработки i -м инструментом одного изделия.

Так как большинство инструментов меняется планово, величина $s \gg 1$. По опыту исследования линии Минского СКБАЛ для спиральных сверл, работающих по стали, $s = 15$, т. е. только каждый пятнадцатый инструмент, последовательно устанавливаемый в гнезде, меняется в результате поломки, остальные меняются планово при затуплении или потере размера. Аналогично для зенкеров $s = 36$, чистовых резцов $s = 40$, торцовых фрез $s = 60$ и т. д.

Общие потери линии из-за плановой и аварийной смены i -го инструмента и его регулировки

$$C_i = C_i' + C_i'' + C_i''', \quad (\text{IV-20})$$

Суммарные ожидаемые потери линии, в которой по проекту будут работать n инструментов, должны составить

$$\sum C_i = \sum_{i=1}^n (C_i' + C_i'' + C_i'''), \quad (\text{IV-21})$$

При большом количестве инструментов ($n = 100 \div 200$) для упрощения можно вести расчеты по типовому представлению инструментов данной группы.

Если на линии инструмент намечается менять группами, время замены единичного инструмента сокращается, что можно учесть соответствующими поправочными коэффициентами, рекомендуемые значения которых приводятся в специальной литературе [16].

Прогнозирование потерь по техническому обслуживанию также производится с помощью таблиц рекомендуемых значений. Так, для линий Минского СКБАЛ рекомендуются следующие расчетные значения затрат времени на техническое обслуживание, приходящихся на единицу времени безотказной работы (в мин): для простых линий $B_{т.о} = 0,043$; для средних линий $B_{т.о} = 0,052$; для сложных линий $B_{т.о} = 0,062$.

Суммарные внецикловые ожидаемые потери линии (простои на единицу времени безотказной работы) получаются суммированием потерь по инструменту, оборудованию и техническому обслуживанию:

$$B = \sum C_i/T + t_e/T + B_{т.о} = B_{ин} + B_{о.б} + B_{т.о}. \quad (IV-22)$$

Так как ожидаемые потери по инструменту и оборудованию $\sum C_i$ и t_e рассчитываются по отношению к одному рабочему циклу [мин/цикл], необходимо разделить $\sum C_i$ и t_e на длительность рабочего цикла.

Коэффициент технического использования проектируемой линии при сблокированном исполнении (с жесткой межагрегатной связью) рассчитывают по формуле

$$\eta_{а.л} = 1/(1 + B_o).$$

При делении линии на n_y участков коэффициент технического использования

$$\eta_{а.л} = \frac{1}{1 + (B_o/n_y) W}, \quad (IV-23)$$

где B_o/n_y — потери одного участка (при делении линии по методу равных потерь); W — коэффициент возрастания потерь участка из-за неполной их компенсации накопителя.

Блок-схема последовательности расчета ожидаемой надежности проектируемой автоматической линии для случая жесткой межагрегатной связи приведена на рис. IV-8.

Еще более сложными и громоздкими являются расчеты ожидаемой надежности при использовании поэлементного метода, согласно которому вся система расчленяется на группы устройств по функциональному признаку (инструменты, электрооборудование, транспортные устройства). Так, согласно методике ЭНИМСА [8] все устройства автоматических линий разделены на семь групп:

- 1) инструменты как режущие, так и вспомогательные;
- 2) приспособления, в которых могут возникать неполадки — фиксирующие, базирующие, направляющие элементы;

3) механическое оборудование — механические кинематические элементы во всех механизмах и устройствах автоматической линии;

4) электрооборудование — все виды электроаппаратуры управления, кроме аппаратуры, относящейся к накопителям;

5) гидравлическое оборудование — все виды гидравлических устройств, применяемых в станках автоматической линии, межстаночных транспортных устройствах, механизмах зажима и фиксации и т. д.;

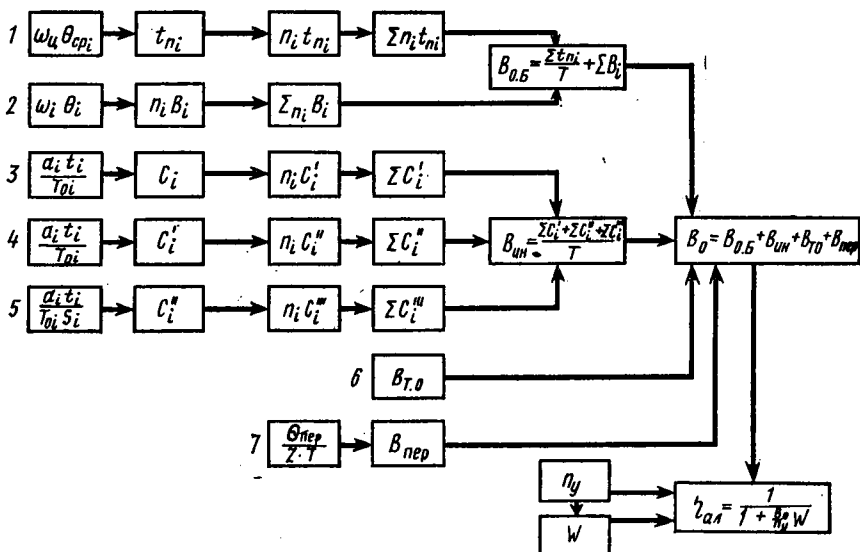


Рис. IV-8. Блок-схема расчета ожидаемых показателей надежности проектируемых автоматических линий:

1 — потери из-за отказов механизмов и устройств циклического действия; 2 — потери из-за отказов механизмов и устройств непрерывного действия; 3 — потери из-за текущей смены инструмента; 4 — потери из-за регулировки инструмента; 5 — потери из-за аварийной смены инструмента; 6 — потери из-за технического обслуживания (предупреждения отказов); 7 — потери из-за переналадки линии на обработку других изделий; $\theta_{пер}$ — время переналадки, Z — количество изделий в партии между двумя переналадками

6) транспортеры и перегружатели с учетом всех специфических элементов загрузочных и транспортных устройств;

7) механизмы заделов-накопителей: транспортеры-накопители, магазины-накопители, бункера-накопители со всеми своими элементами, включая гидравлические и электрические.

Каждое из этих устройств делится на элементы (например, зубчатые колеса, подшипники, дроссели, конденсаторы и т. д.). Среди элементов выделяются типовые, характерные для данной группы, для которых численно в виде таблиц даются относительные баллы подверженности отказам и длительности настройки. Относительный балл одного типового элемента умножается на количество однотипных элементов в данной группе, образуя погрупповой балл. Погрупповые характеристики надежности образуются путем умножения погрупп-

повых баллов на специальные коэффициенты пропорциональности, величина которых также устанавливается статистически. Затем характеристики надежности всех групп суммируются, в результате получаются характеристики надежности автоматической линии: B_0, η_{a-l} и т. д.

Аналогичная система оценки ожидаемой надежности проектируемых систем существует и для радиоэлектронной аппаратуры, где также накоплен обширный статистический материал по надежности отдельных наиболее типовых элементов (сопротивлений, конденсаторов, электронных ламп, полупроводниковых приборов и т. д.). Имея эти данные, а также данные об условиях и режимах работы аппаратуры (что учитывается специальными коэффициентами) и принципиальную схему системы, можно подсчитать ожидаемую интенсивность отказов, плотность распределения времени безперебойной работы, функции надежности и т. д. Принципы расчета совершенно идентичны: проектируемая система расчленяется на отдельные элементы, на которые и начисляются потери.

Все опытно-статистические методы оценки надежности проектируемых систем (укрупненные, поузловые, поэлементные) имеют, однако, ряд серьезных недостатков. Согласно этим методам ожидаемая надежность автоматических линий зависит только от количества различных элементов. Однако нетрудно видеть, что из одного и того же набора зубчатых колес, подшипников, дросселей можно создать как отлично работающую, так и совершенно неработоспособную систему. Все зависит от характера взаимодействия между отдельными элементами, от их взаимосвязи, которая неизбежно утрачивается при расчленении системы и обособленном рассмотрении каждого из элементов. Поэтому усложнение расчетов, проведение их по узловому или поэлементному принципу не всегда оправдано и следует по возможности использовать простейшие, укрупненные расчеты, особенно в тех случаях, когда высокой точности окончательных результатов не требуется, например на предпроектной стадии.

Рассмотрим пример расчета ожидаемой надежности линии из агрегатных станков, схема планировки которой приведена на рис. IV-9.

Согласно проекту, линия имеет $q = 8$ рабочих позиций обработки, в которых будут расположены 16 силовых столов с несамостоятельными

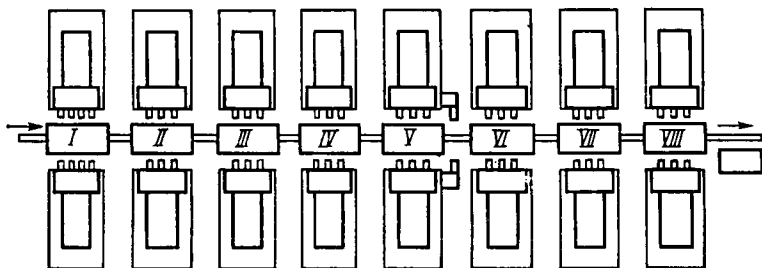


Рис. IV-9. Схема планировки автоматической линии из агрегатных станков

щими головками, из них 12 имеют многошпиндельные сверлильные коробки, а 4 — фрезерные или расточные одношпиндельные насадки. На позиции I производится фрезерование плоскостей, на позициях II, III, IV, V — сверление крепежных отверстий, на VI и VII — нарезание резьбы, на VIII — расточка отверстий. Общее количество режущих инструментов 140, проектная длительность рабочего цикла $T = 0,8$ мин. Межагрегатная связь — жесткая (без деления линии на участки); линия не переналаживается. Необходимо оценить ожидаемые показатели надежности в работе, прежде всего коэффициент технического использования, применяя укрупненные и поузловые методы расчета.

При укрупненных расчетах, как известно, единственным определяющим фактором является в первом приближении число рабочих позиций q .

Зная величину $q = 8$ и принимая согласно рис. IV-7 $B = 0,03$, получаем общие ожидаемые потери линии:

$$B_0 = Bq = 0,03 \cdot 8 = 0,24.$$

Коэффициент технического использования

$$\eta_{a.l} = 1/(1 + B_0) = 1/(1 + 0,24) = 0,81.$$

Если воспользоваться дифференцированными значениями ожидаемых потерь в зависимости от характера обработки на позициях, то, принимая средние значения согласно табл. IV-1, получаем

$$B_0 = 0,025 \cdot 4 + 0,03 \cdot 4 = 0,25;$$

$$\eta_{a.l} = 1/(1 + B_0) = 1/(1 + 0,225) = 0,82.$$

При поузловом методе расчета необходимо согласно диаграмме (см. рис. IV-8) определить ожидаемые потери: а) из-за отказов механизмов и устройств; б) из-за смены и регулировки инструментов; в) из-за технического обслуживания, учитывая количество элементов каждого типа (механизмов и инструментов) и ожидаемые потери каждого элемента (см. табл. IV-2 и IV-3).

Расчеты ожидаемых потерь из-за отказов оборудования (по основным типам механизмов и устройств) сведены в табл. IV-4.

Выполнив необходимые расчеты, получим ожидаемые потери по оборудованию:

$$B_{об} = (\sum t_{pi} n_i)/T + n_i B_i = 0,0513/0,8 + 0,00020 = 0,064.$$

Аналогичные расчеты выполняем и для инструментов, группируя однотипные инструменты между собой для упрощения расчетов.

Так, в линии n_i — шесть однотипных сверл диаметром 8,5 мм. Принимая в качестве исходных данных стойкость в количестве деталей $T_{oi}/a_i = 970$ шт, время замены при затуплении $t'_i = 0,2$ мин, получаем:

$$C'_i = 0,2/970 = 0,21 \cdot 10^{-3} \text{ мин/шт.};$$

$$n_i C'_i = 0,21 \cdot 10^{-3} \cdot 6 = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ мин/шт.}$$

Таблица IV-4

Узлы	n_i	$t_{\text{п}} \cdot 10^{-3}$	$n_i t_{\text{п}} \cdot 10^{-3}$
А. Циклического действия			
Силовой стол с многошпиндельной коробкой	12	0,3	3,6
Силовой или подкатный стол с расточной или фрезерной насадкой	4	0,8	3,2
Приспособление для зажима и фиксации изделий	8	2,0	16,0
Транспортер с приводом	1	4,0	4,0
Кондукторные плиты подвижные	12	0,05	0,6
Устройство для контроля наличия отверстий	2	2,0	4,0
Электрооборудование (комплект)	1	6,0	6,0
Гидрооборудование (комплект)	1	13,9	13,9
Итого	$\Sigma t_{\text{п}} n_i = 51,3 \cdot 10^{-3}$ мин/шт.		
Б. Непрерывного действия			
Насосная станция	2	0,10	0,20
Итого	$B_i n_i = 0,20$		

Аналогично для аварийных замен (поломок) принимаем: среднее количество нормально отработавших инструментов между двумя поломками $s = 35$; среднее время замены при поломке $t_i^* = 6$ мин. Отсюда:

$$C_i''' = \frac{a_i t_i^*}{T_{\text{от}} s_i} = \frac{6}{970 \cdot 35} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ мин/шт.};$$

$$n_i C_i''' = 6 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ мин/шт.}$$

Для расточных резцов и других мерных инструментов дополнительно рассчитываем и величину потерь из-за регулировки C_i' . Суммируем полученные данные для всех инструментов:

$$\Sigma C_i = \Sigma C_i' n_i + \Sigma C_i''' n_i + \Sigma C_i'' n_i = 80 \cdot 10^{-3} = 0,08 \text{ мин/шт.};$$

$$B_{\text{ин}} = 0,08/0,8 = 0,1,$$

Потери на техническое обслуживание согласно рекомендациям принимаем:

$$B_{\text{т.о}} = 0,043.$$

Таким образом, общие ожидаемые потери проектируемой линии согласно поузлового расчёту

$$B_0 = B_{06} + B_{\text{и.н}} + B_{\text{т.о}} = 0,064 + 0,10 + 0,043 = 0,207.$$

Коэффициент технического использования

$$\eta_{a.l} = 1/(1 + B_0) = 1/(1 + 0,207) = 0,83.$$

Использование поэлементных методов расчета (с расчленением оригинальных узлов на составные элементы) может привести к дальнейшему уточнению ожидаемых значений показателей надежности. Однако степень такого уточнения невелика (порядка нескольких процентов, что не имеет практического значения) и не оправдывают усложнения расчетов тем более, что здесь почти неизбежно погрешность исходных данных превышает погрешность метода.

Приведенные выше методы расчета ожидаемых показателей надежности системы по ожидаемым показателям ее элементов являются простейшими, так как учитывают лишь математические ожидания (средние величины) анализируемых параметров без учета законов распределения их как случайных величин. Поэтому полученная величина $\eta_{a.l}$ также есть математическое ожидание коэффициента использования линии. В тех случаях, если необходимо знать не только среднее значение, но и остальные характеристики показателей надежности автоматических линий, необходимо в качестве исходных данных знать законы распределения всех определяющих параметров (внецикловых потерь различных видов, а следовательно, показателей безотказности и ремонтпригодности). В этом случае вместо аналитических расчетов более целесообразно применение методов статистического моделирования работы автоматических линий.

§ 4. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АВТОМАТОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

В процессе эксплуатации показатели работоспособности автоматов и автоматических линий не остаются постоянными во времени ввиду наличия дестабилизирующих факторов: с одной стороны, конструктивной и технологической обработки, повышения квалификации обслуживающего персонала, приработки сопряжений; с другой — изнашивания, потери усталостной прочности, коррозии, коробления, засорения и т. д. Стабилизирующими факторами являются планово-предупредительные ремонты, межремонтное обслуживание и т. д.

Таким образом, числовые значения показателей надежности в процессе эксплуатации являются переменными. Так как исследования работоспособности автоматов и автоматических линий проводятся в период их стабильной эксплуатации, то полученные результаты, использованные в качестве исходных данных для прогнозирования надежности проектируемых машин, позволяют решить эту задачу именно для этого периода.

Однако недостаточно прогнозировать производительность и надежность оборудования только для первого периода эксплуатации. Автоматы и автоматические линии должны обеспечивать требуемое качество продукции и выполнение производственной программы в течение всего срока службы, на любых стадиях эксплуатации. Следовательно, конструктивными, структурными, эксплуатационными

методами необходимо обеспечить высокие начальные показатели работоспособности автоматов и линий (безотказность и восстанавливаемость) и поддержание их в процессе эксплуатации (долговечность). Отсюда одна из важнейших задач теории надежности — анализировать и прогнозировать тенденции изменения показателей надежности во времени, т. е. долговечность машин.

Согласно определению [23], долговечность есть свойство изделий сохранять работоспособность до предельного состояния (с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта).

При исследовании явлений длительного функционирования элементов и систем, их старения во всех случаях процесс изнашивания является определяющим фактором — аргументом. Здесь износ понимается в широком смысле как изменение размеров и геометрической формы деталей и их сопряжений, изменение физико-химических, механических и других свойств. Первичной функцией является изменение прочности, жесткости, виброустойчивости, геометрической точности механизмов и устройств; вторичной — изменение целевой функции систем, их производительности и надежности в работе, качества продукции, экономических показателей.

Чем дольше сохраняются первоначальные характеристики точности машин, их жесткость, виброустойчивость, стабильность работы механизмов и др., т. е. чем дольше безотказность и ремонтпригодность, тем выше долговечность.

Однако методология оценки долговечности элементов и систем имеет специфические особенности. Предельное состояние механизмов, устройств, инструментов определяется обычно невозможностью их дальнейшего использования из-за потери размеров, геометрической формы, физических свойств и других отдельных деталей и сопряжений. Поэтому экспериментально оценка долговечности производится, как правило, испытанием на износ образцов, сопряжений и механизмов на универсальном оборудовании (машины трения) или специальных испытательных стендах методами форсированных испытаний (см. § 3). Тем самым исследуются непосредственно те факторы, которые определяют долговечность систем и их элементов — износ, потеря усталостной прочности и т. д. Такая методология приемлема и для оценки долговечности простейших систем, например универсальных металлорежущих станков, где долговечность определяется во многом износом направляющих, которые и служат объектом стендовых испытаний, вплоть до предельных состояний.

Для сложных систем, к которым относятся автоматы и автоматические линии, предельное состояние определяется не только физическим, но и моральным износом, когда из-за снижения производительности, роста эксплуатационных затрат и других причин оборудование списывается даже при условии технической пригодности.

Чем сложнее система, тем менее заметным становится зависимость ее выходных и параметров — качества обработки, производительности, эффективности использования — от технического состояния конкретных элементов (степени изношенности деталей и сопряжений, качества поверхностного слоя и т. д.); эти связи приобретают корреля-

ционный характер с весьма малой теснотой связи. Даже в токарном многошпиндельном автомате, где точность обработки определяется состоянием целого комплекта механизмов и устройств (шпиндельный блок, механизмы зажима, фиксации, продольного и поперечного суппортов и т. д.), затруднительно выделить один или два элемента, износ которых определял бы долговечность автомата как системы. Тем более не может быть таких определяющих элементов в автоматических линиях, где производительность и качество изделий зависят от десятков механизмов и устройств, сотен инструментов, которые содержат

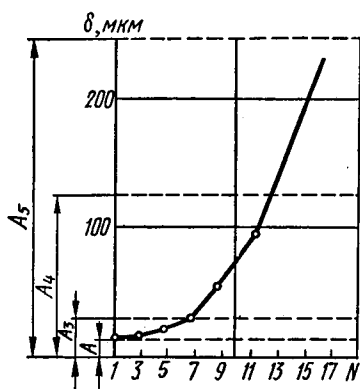


Рис. IV-10. Точность обработки на автоматах с различной длительностью эксплуатации

тысячи стыков, сопряжений, контактных поверхностей, поверхностей трения.

Поэтому при анализе долговечности сложных систем необходимо проводить исследования не процессов изнашивания, а их последствий, в конечном счете — изменения производительности машин и их экономических показателей в процессе эксплуатации.

Поскольку автоматы и автоматические линии могут исследоваться только в производственных условиях, к ним практически неприменимы методы форсированных испытаний. Поэтому длительные испытания одного объекта в течение продолжительного времени (сопоставимого со сроками службы) приходится заменять системой кратковременных исследований однотипных взаи-

мозаменяемых объектов с различной длительностью эксплуатации.

Многочисленные исследования и опыт эксплуатации различных типов металлорежущего оборудования показывают, что первоначальная точность обработки, обусловленная жесткостью, виброустойчивостью, геометрической точностью узлов, режимами обработки, качеством заготовок, сохраняется лишь в течение определенного периода времени. В дальнейшем, вследствие процессов изнашивания, снижения жесткости и геометрической точности механизмов и сопряжений, погрешности обработки увеличиваются, что не может быть в полной мере локализовано даже при системе планово-предупредительного ремонта.

На рис. IV-10 показана диаграмма точности обработки на токарно-револьверных автоматах типа 1Б136 с различной длительностью эксплуатации. Здесь показаны поля допусков, соответствующие стандартным границам точности — от второго до пятого класса. Как видно, новые токарно-револьверные автоматы обеспечивают обработку изделий с точностью 2а — 3-го класса, что сохраняется на протяжении 6—7 лет эксплуатации, точность 3а класса удовлетворяется до 10—12 лет; после 16—18 лет автоматы обеспечивают точность только свободных размеров.

Более сложный характер имеет изменение во времени показателей надежности и производительности ввиду наличия периода пуска и освоения, когда оборудование имеет первоначальную высокую точность обработки, но высокую интенсивность отказов механизмов и устройств.

В общем случае срок службы машины принято делить на три основных периода.

I. Период пуска и освоения — показатели надежности невысоки из-за недостаточной освоенности технологии и конструкции, наличия конструктивных недоработок, недостаточной квалификации обслуживающего персонала. Однако постепенно, в течение периода показатели надежности монотонно повышаются благодаря отладке системы, устранению обнаруженных конструктивных дефектов, отработке технологических режимов, повышению квалификации обслуживающего персонала.

II. Период стабильной эксплуатации — показатели работоспособности стабилизируются на уровне, который определяется конструктивным совершенством машин, качеством их изготовления и сборки, уровнем эксплуатации. В этот период уже в полной мере проявляются процессы изнашивания, что приводит к ухудшению жесткости, геометрической точности, виброустойчивости механизмов, сопряжений и машин в целом. Однако в данный период удается поддерживать относительное постоянство эксплуатационных характеристик путем выполнения различных видов восстановительного ремонта и межремонтного обслуживания.

III. Период старения — время, когда вследствие продолжающихся процессов износа и старения машин уже никакой системой ремонта и обслуживания не удается поддержать на прежнем уровне их работоспособность. В этот период неизбежно ухудшается как технологическая надежность (увеличение мгновенного поля рассеивания размеров и частоты подналадки), так и надежность функционирования (увеличение интенсивности отказов механизмов и устройств).

Физические процессы и закономерности, определяющие наличие этих периодов, являются идентичными для всех технологических машин, но длительность отдельных периодов весьма различна.

Длительность периода пуска и освоения зависит главным образом от отработанности конструкции и минимальна для универсальных станков и автоматов, выпускаемых большими партиями в течение длительных промежутков времени. Несколько большим является этот период для оборудования, комплектуемого из нормализованных узлов (агрегатные станки и автоматические линии из агрегатных станков). Чем оригинальнее конструкция машины и технологические процессы, положенные в ее основу, тем длительнее период пуска и освоения, который может растянуться на несколько лет.

Длительность периода остальной эксплуатации определяется интенсивностью процессов изнашивания, которые зависят от технологических и динамических сил, возникающих при эксплуатации машин, износоустойчивости конструктивных материалов и т. д. Чем выше интенсивность использования машины в процессе эксплуатации, меньше

длительность рабочего цикла, выше динамические нагрузки, тем меньше период стабильной эксплуатации.

Период старения машины следует за периодом стабильной эксплуатации вплоть до конца срока службы и определяется характером оборудования, его универсальностью. Специальное оборудование снимается с эксплуатации при замене выпускаемых изделий, универсальное оборудование — вследствие достижения предельных состояний по физическому или моральному износу.

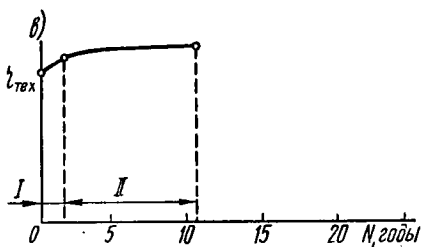
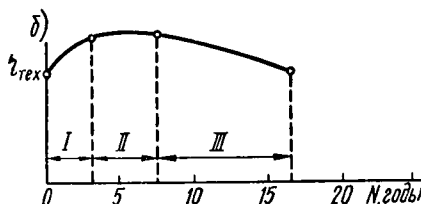
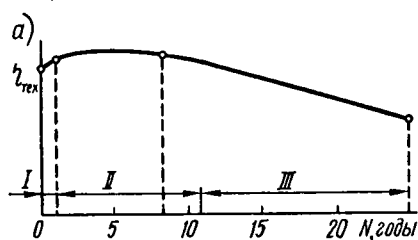


Рис. IV-11. Основные периоды эксплуатации автоматов и автоматических линий различных типов и тенденции изменения эксплуатационных характеристик во времени:

а — универсальные полуавтоматы и автоматы; б — специальные автоматы и автоматические линии для стабильной продукции; в — агрегатные станки и автоматические линии из агрегатных станков

Так как сочетания перечисленных характеристик (отработанности конструкции, интенсивность использования, универсальность и др.) для различных типов оборудования различны, характер изменения показателей работоспособности во времени в течение сроков службы носит неодинаковый характер.

На рис. IV-11 показаны типовые диаграммы изменения во времени коэффициента использования некоторых типов автоматов и автоматических линий.

Для универсальных автоматов (рис. IV-11, а), например токарных, период пуска и освоения весьма короток (меньше года) и связан лишь с квалификацией наладчиков и устранением некоторых дефектов изготовления и сборки конкретных образцов. Так как в автоматах имеются значительные динамические нагрузки при выполнении холостых ходов, а также усилия обработки, период стабильной эксплуатации также продолжается примерно 10 лет и менее,

после чего следует старение машин. Оно в итоге может занимать более половины общего срока службы, так как универсальные автоматы эксплуатируются до 25 лет и более.

В качестве примера на рис. IV-12 приведена диаграмма расчетной производительности токарно-револьверных автоматов с различной длительностью эксплуатации, рассчитанная по результатам исследований работоспособности большого количества однотипных образцов в идентичных условиях использования. Техническая производительность рассчитана с учетом всех факторов по формуле

$$Q = 1/T \eta_p \eta_{\text{тех}} \eta_r,$$

где T — длительность рабочего цикла при обработке типовой детали при типовых режимах обработки; η_p — коэффициент времени эксплуатации, отражающий удельный вес времени выполнения планово-предупредительных ремонтов; $\eta_{\text{тех}}$ — коэффициент технического использования, характеризующий уровень надежности автоматов в работе в периоды времени между ППР (межремонтные периоды); η_r — коэффициент выхода годных изделий, характеризующий удельный вес годных и бракованных изделий при обработке, а следовательно, технологическую надежность автоматов.

Так как все показатели T , η_p , $\eta_{\text{тех}}$, η_r являются переменными в процессе эксплуатации, то и производительность автоматов есть функция времени $Q = f(N)$.

Как видно, цикловая производительность автоматов в процессе эксплуатации не остается постоянной, так как в период старения вследствие ухудшения жесткости, геометрической точности, виброустойчивости механизмов и системы СПИД в целом приходится несколько занижать режимы обработки для обеспечения требуемого качества изделий (см. гл. III).

Величина коэффициента η_p также не остается постоянной, так как вследствие процессов старения машины относительная длительность пребывания автоматов в ремонте увеличивается, потери производительности из-за ППР растут.

По аналогичным причинам изменяется и величина коэффициента технического использования $\eta_{\text{тех}}$. Если у новых автоматов с длительностью эксплуатации $N = 3 \div 7$ лет он составляет $\eta_{\text{тех}} = 0,89 \div 0,91$, то уже после $N = 15$ лет он снижается до $\eta_{\text{тех}} = 0,83 \div 0,85$, а если автомат работает $N = 25-28$ лет, то $\eta_{\text{тех}} = 0,78 \div 0,80$.

С увеличением длительности эксплуатации, несмотря на занижение режимов, рост числа подналадок и процент бракованных изделий увеличиваются. В результате производительность автоматов, работающих 25—28 лет, составляет не более 55—60% производительности новых автоматов, что само по себе, без дальнейших экономических расчетов свидетельствует о нецелесообразности столь длительных сроков эксплуатации.

Специальные автоматы, в том числе автоматы, встроенные в автоматические линии, имеют менее длительные сроки службы (см. рис. IV-11, б) и при этом период пуска и освоения занимает уже не несколь-

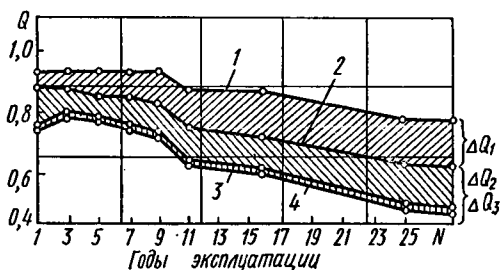


Рис. IV-12 Производительность токарно-револьверных автоматов с различной длительностью эксплуатации

1 — цикловая производительность; 2 — производительность с учетом ППР; 3 — техническая производительность; 4 — производительность с учетом ППР и надежности в работе

ко месяцев (см. рис. IV-11, а), а два-три года и более. Если при этом автоматы работают с высокой интенсивностью, длительность периода стабильной эксплуатации невелика.

На рис. IV-13 приведена диаграмма показателей работоспособности токарных многошпиндельных автоматов, встроенных в линию обработки колец карданных подшипников. Как видно, в начале эксплуатации ($N = 2-3$) собственные потери очень велики, а в дальнейшем они сокращаются. Однако ввиду малой длительности рабочего цикла ($T = 4$ с), а следовательно, прогрессивного износа и потери жесткости и виброустойчивости после относительно короткого периода стабилизации наступает период ухудшения характеристик работоспособности.

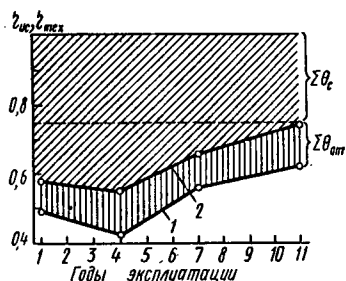


Рис. IV-13. Показатели работоспособности специальных автоматов, встроенных в автоматические линии, по результатам многократных исследований:

1 — коэффициент использования;
2 — коэффициент технического использования; $\Sigma\theta_с$ — собственные потери, $\Sigma\theta_{от}$ — дополнительные потери

характеристик работоспособности. Диаграмма наглядно показывает, что, несмотря на весьма небольшие организационные потери, автоматы ни в один период эксплуатации не обеспечивают работу с общим коэффициентом использования 0,75, хотя именно этой величиной задаются обычно при проектных расчетах производительности и надежности в процессе проектирования линий, расчета их структурных характеристик.

Иные закономерности существуют для автоматов и линий, komponуемых из нормализованных узлов (рис. IV-11, в). Хорошая отработанность конструкций составляющих элементов, типовые компоновочные решения позволяют ограничить период пуска и освоения, который определяется лишь технологическими параметрами и исходным уровнем квалификации наладчиков.

Так как интенсивность использования агрегатных станков и линий из них невысока ($T = 1-2$ мин), а узлы имеют высокую жесткость с хорошей обработкой конструкции сопряженных поверхностей, то процессы износа протекают медленно и локализуются путем повышения квалификации наладчиков, освоения технологии и т. д. Показатели работоспособности сохраняются на стабильном уровне в течение длительного периода с общей тенденцией к повышению. А так как общие сроки службы ограничиваются длительностью периода выпуска данных изделий ($N_{\max} = 10-15$ лет), то период старения и снижения показателей работоспособности может и не наступить.

На рис. IV-14 приведена диаграмма значений коэффициента использования автоматической линии обработки блока цилиндров двигателя ЗИЛ по итогам многократных исследований на различных стадиях эксплуатации в течение 17 лет. Как видно, работоспособность линии монотонно повышается с относительной стабилизацией в соответствии с общей закономерностью, приведенной на рис. IV-11, в. Аналогичный характер показывают и другие исследования [15].

Таким образом, в зависимости от конкретных характеристик и условий использования, тенденция изменения показателей работоспособности автоматов и линий во времени имеет различный характер — надежность может и увеличиваться и уменьшаться.

Наиболее стабильными являются показатели автоматических линий из агрегатных станков; наиболее достоверными по отношению к ним являются расчеты ожидаемой производительности и надежности на стадии проектирования (см. § 3).

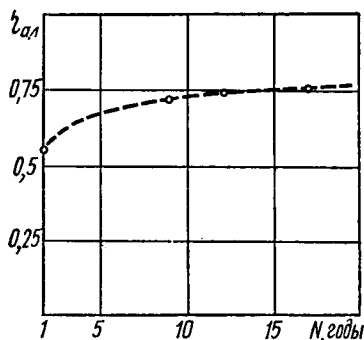


Рис. IV-14. Показатели работоспособности линии обработки блока цилиндров двигателя ЗИЛ по итогам многократных исследований.

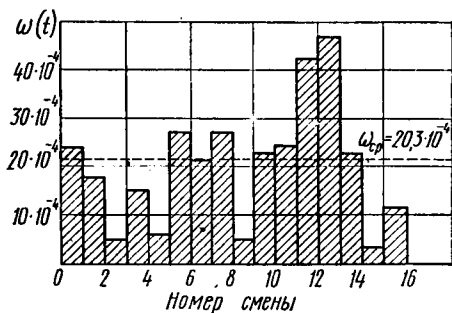


Рис. IV-15. Интенсивность отказов автооператора токарного многошпиндельного автомата по сменам наблюдения

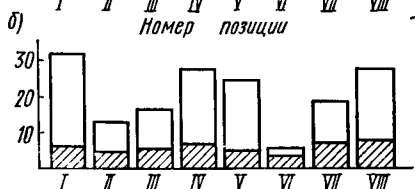
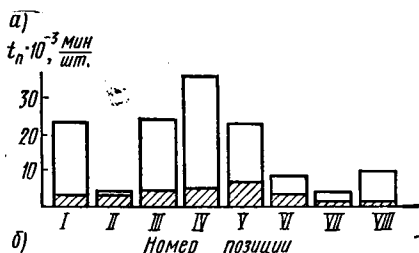
Следует, однако, отметить, что стабильность общих показателей надежности системы в целом отражает лишь процессы динамического равновесия. В период стабильной эксплуатации идентичность показателей работоспособности (см. рис. IV-12) на протяжении длительного периода обеспечивается прежде всего за счет медленно протекающих процессов изнашивания и повышения квалификации обслуживающего персонала. Вместе с тем в линии постоянно происходят дестабилизирующие процессы высокой интенсивности, которые приводят к циклическим изменениям уровня надежности системы и ее элементов (наладка и разрегулирование механизмов; загрязнение, засорение и уборка, очистка). На рис. IV-15 приведена диаграмма интенсивности отказов автооператора токарного многошпиндельного автомата КА-76 по сменам наблюдения. Как видно, периоды относительно надежной работы чередуются с периодами высокой интенсивности отказов, хотя среднее значение параметра потока отказов ($\omega = 20,3 \cdot 10^{-3}$) имеет стабильный характер на протяжении длительного периода эксплуатации.

На рис. IV-16 показаны диаграммы внецикловых потерь по оборудованию и инструменту станков (рабочих позиций) автоматической линии блока цилиндров двигателя ЗИЛ по данным исследований разных лет ($N = 12$ и 17 лет). Хотя общие показатели работоспособности линии за это время не изменяются (при $N = 12$ лет $\eta_{a.l} = 0,74$; при

$N = 17$ лет $\eta_{a.l} = 0,76$; см. рис. IV-14), потери различных позиций значительно различаются между собой с увеличением или уменьшением, что является отражением быстро протекающих процессов.

Поэтому исследование долговечности автоматов и автоматических линий, тенденций изменения показателей работоспособности во времени эксплуатации требует сочетания и стендовых, и эксплуатационных исследований с глубоким анализом физической сущности и причин отказов.

Долговечность автоматов и автоматических линий определяет сроки их службы по критериям физического или морального износа,



□ Потери по инструменту ▨ Потери оборудования

Рис. IV-16. Диаграмма внецикловых потерь станков автоматической линии блока цилиндров двигателя ЗИЛ по итогам исследований разных лет

что имеет особую актуальность для универсального оборудования и специального оборудования для выпуска стабильной продукции (например, подшипников).

Технически максимальные сроки службы $N_{\max}$ определяются из того, что автомат или автоматическая линия уже не в состоянии обеспечить требуемое количество обработки изделий вследствие ухудшения жесткости, геометрической точности, виброустойчивости (см. рис. IV-10).

Экономически оптимальные сроки службы $N_{\text{опт}}$ (сроки морального износа) определяются нецелесообразностью дальнейшей эксплуата-

тации автоматов или автоматических линий по экономическим критериям.

Процессы морального старения машин приводят к тому, что при эксплуатации полезная отдача машин (количество и стоимость выпущенной продукции) может существенно снижаться (см. рис. IV-12), эксплуатационные затраты неизбежно возрастают вследствие увеличения длительности и стоимости ремонта, роста необходимого количества наладчиков и т. д.

На рис. IV-17 приведены в едином масштабе величины стоимости продукции C (линия 1) и эксплуатационных затрат C (линия 2), во времени эксплуатации автоматов. Здесь применительно к той же выбранной типовой детали приведены границы периодов эксплуатации, когда автоматы удовлетворяют тем или иным требованиям точности. Диаграмма показывает, что в первые годы эксплуатации, когда технические характеристики достаточно высоки (производительность, точность обработки), эксплуатация автомата является высокоэффективной. Однако в дальнейшем полезная отдача уменьшается, а расходы растут; в результате стоимость выпущенной продукции уже не покры-

вает эксплуатационных затрат, автоматы становятся для предприятия убыточными (при $N > N_{\text{опт}}$; $C < C$). Как показывает диаграмма, это наступает значительно раньше, чем автомат перестает удовлетворять точностным требованиям, что определяет срок его физической

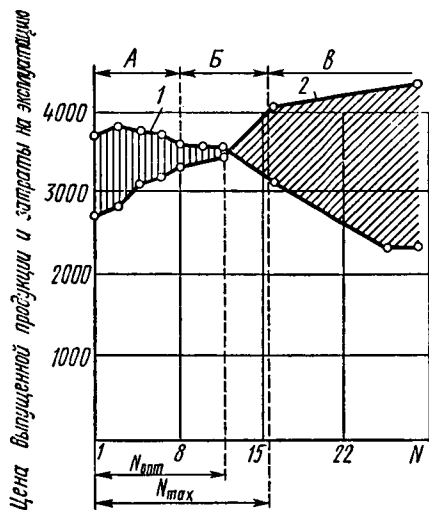


Рис. IV-17. Изменение цены выпущенной продукции C и годовых эксплуатационных затрат C на разных стадиях эксплуатации автоматов:

1 — цена годового выпуска продукции одним автоматом; 2 — годовые затраты на эксплуатацию одного автомата; А — длительность периода эксплуатации, в течение которого автоматы обеспечивают точность обработки в пределах класса 3а и выше; Б — длительность периода, когда обеспечивается точность в пределах классов 3а–5; В — длительность периода, когда не обеспечивается точность класса 5

годности N_{max} , т. е. моральный износ наступает раньше физического $N_{\text{опт}} < N_{\text{max}}$.

Аналогичное обоснование сроков службы автоматического оборудования справедливо и в тех случаях, когда его полезная отдача со временем не уменьшается (см. рис. IV-14), но эксплуатационные затраты, связанные с поддержанием работоспособности, неизбежно увеличиваются.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Автоматическая линия состоит из большого количества сложных агрегатов, находящихся во взаимодействии между собой и обеспечивающих выполнение заданного технологического процесса. Механизмы, обеспечивающие точное и согласованное во времени взаимодействие узлов, агрегатов и всех вспомогательных устройств линии, составляют систему управления автоматической линии.

Автоматическая линия проектируется для осуществления определенного процесса обработки с целью получения изделия с заданными размерами и другими параметрами в требуемом количестве. Это можно достичь слаженной работой всех агрегатов и устройств линии в определенной последовательности.

Система управления линии разрабатывается на основе технологической схемы обработки, расчетных листов настройки и циклограмм. Циклограмма линии дает графическое изображение рабочего цикла, отражая все происходящие в линии процессы.

§ 1. ФУНКЦИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Системы управления автоматических линий классифицируют по различным признакам: по принципу централизации, по характеру программносителя, по технологическому назначению, по наличию обратных связей и т. д. Каждый из этих признаков характеризует определенные возможности системы управления.

Принципы построения систем управления автоматических линий и отдельных машин-автоматов базируются на едином критерии, однако функции их различны.

Автоматические линии представляют собой сложные комплексы из технологического и вспомогательного оборудования, где характер их взаимодействия часто весьма сложен и определяется прежде всего принятой структурной схемой линии или видом межагрегатной связи.

Известно, что для большинства машин понятие «рабочий цикл автомата» является вполне конкретным и определенным; для автоматических же линий оно имеет физический смысл только применительно к линиям с жесткой межагрегатной связью; в линиях, разделенных на участки, оно применимо только к отдельным участкам; в линиях с

гибкой межагрегатной связью все основные агрегаты работают без синхронизации во времени и понятие «рабочий цикл линии» вообще отсутствует.

Таким образом, даже функции управления рабочим циклом в автоматических линиях весьма усложняются и это предопределяет особенности их построения, начиная с выбора типа системы управления (упорами, копирами, распределительным валом, перфолентами или перфокартами), которая должна учитывать и такие специфические

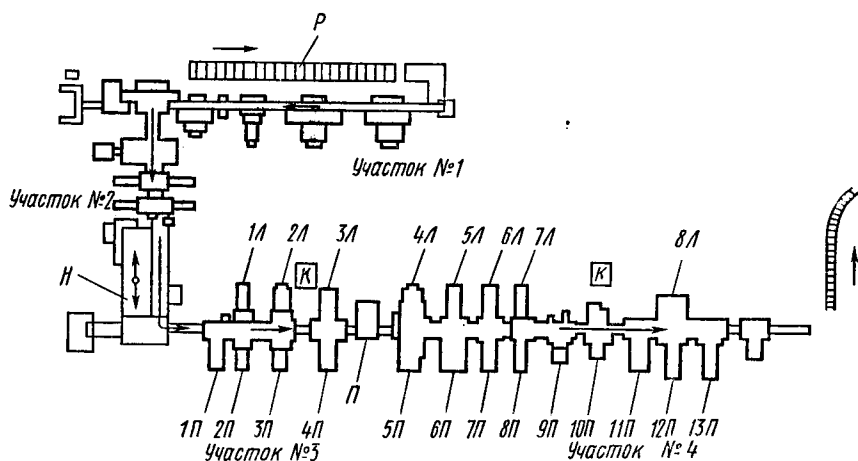


Рис. V-1. Планировка автоматической линии из агрегатных станков для обработки головки блока двигателя «Москвич-2»:

1Л—8Л, 1П—13П — агрегатные силовые головки; Р — рольганг; Н — накопитель; К — командаппараты; П — поворотный стол

требования, как дистанционность и многоконтурность управления и т. д.

На рис. V-1 показана планировка автоматической линии из агрегатных станков для обработки головки блока двигателя «Москвич-2». Она состоит из четырех независимых в конструктивном отношении участков, в каждом из которых с помощью шаговых транспортеров жестко заблокировано определенное количество станков, которые должны работать в едином ритме, синхронно во времени, обеспечивая заданную программой последовательность рабочих операций и холостых ходов цикла. Участки № 3 и 4 связаны между собой поворотным столом П, что накладывает дополнительное условие согласования во времени рабочих циклов обоих участков. Между участками № 2 и 3 находится автоматический накопитель, компенсирующий несовпадающие во времени простои. Это позволяет не синхронизировать во времени работу обоих участков, но вызывает необходимость их взаимного блокирования совместно с накопителем для обеспечения всех возможных вариантов функциональной связи (работа «на проход», «на накопление», «на расход», автоматическое отключение в слу-

чае отказов при предельных состояниях накопителя, его переполнения и опустошения).

На рис. V-2 приведена циклограмма работы заблокированных участков № 3 и 4, которая обуславливается только заданным технологическим процессом и производительностью линии и должна быть реализована посредством системы управления линией. Как

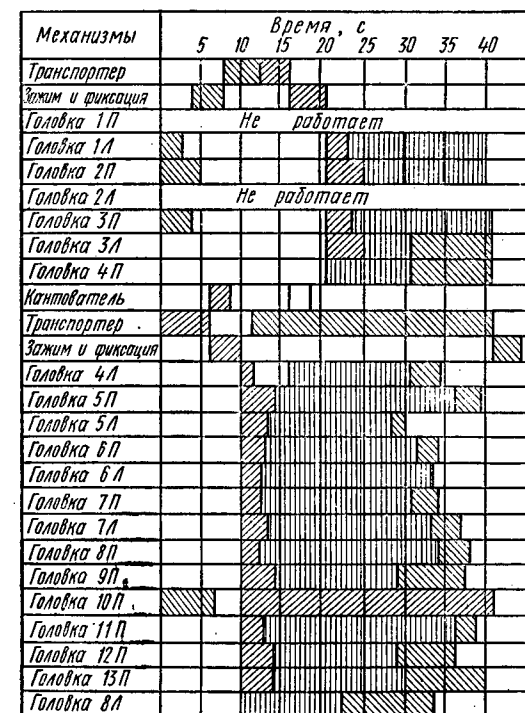


Рис. V-2. Циклограмма работы заблокированных участков № 3 и 4 автоматической линии обработки головки блока

видно, всего в данной системе синхронно по заданной программе должно работать 28 агрегатов, из которых два являются управляющими (командоаппараты), остальные — субъекты управления: шаговые транспортеры, механизмы зажима и фиксации изделий на рабочих позициях, поворотный стол, агрегатные силовые головки в количестве 21 шт., из которых две отключены. За нулевую точку рабочего цикла принято начало хода вперед транспортера четвертого участка, который перемещает все изделия из позиции в позицию (см. рис. V-1) и конструктивно связан с силовой головкой 10П, которая производит чистовое фрезерование в плоскости, параллельной траектории перемещения изделий транспортером.

После окончания хода транспортера производится зажим и фиксация изделий на всех рабочих позициях, после чего одновременно начинают действовать все силовые головки, расположенные как справа, так и слева от транспортера. Каждая из них выполняет одинаковый цикл срабатывания: быстрый подвод, рабочая подача, быстрый отвод, останов в исходном положении. Исключение составляет головка 10П, рабочая подача которой есть медленный возврат шагового транспортера. Окончание обработки последней головкой позволяет произвести разжим и расфиксацию изделий на рабочих позициях, после чего производится новый ход транспортера вперед и новый рабочий цикл участка по той же заданной программе.

Как видно из циклограммы (рис. V-2), после окончания хода транспортера на участке № 4 вперед (при этом из кантователя заби-

рается очередное изделие) следует поворот кантователя и это является разрешением на ход вперед транспортера участка № 3, в результате чего в кантователь поступает новое изделие, уже полностью обработанное на этом участке. Таким образом, участки № 3 и 4 имеют идентичную структуру рабочего цикла со смещением нулевого положения по фазе на одинаковую величину.

Такая заданная циклограмма, которая является типовой для автоматических линий с жесткой межагрегатной связью, реализуется посредством автоматической системы управления линией, которая при каждом рабочем цикле выдает большой комплекс команд всем циклически действующим агрегатам линии. Каждая команда формируется при наличии определенных информационных элементов, к числу которых относятся: а) положение или состояние агрегатов линии, в том числе и того, для которого формируется команда; б) наличие деталей на определенных позициях; в) «память» о предыдущем состоянии некоторых узлов; г) истечение определенного промежутка времени. Например, суммой признаков, необходимых для транспортирования деталей, может являться то, что все силовые узлы автоматической линии находятся в исходном положении и детали в приспособлениях зафиксированы и отжаты.

Однако такое состояние на линии создается как до обработки детали, так и после нее. Для однозначного формирования команды необходимо выбрать только одно состояние, при котором может происходить транспортирование детали. Для этого нужно создать дополнительный признак, определяющий именно это состояние. В приведенном примере (см. рис. V-2) таким признаком может служить «память» о том, что все силовые головки побывали в переднем положении, т. е. произвели обработку детали.

При выборе методов и средств контроля положения или состояния узлов следует стремиться применять непосредственные, а не косвенные способы контроля. В соответствии с этим положение узлов контролируется «упорами» — датчиками положения, в качестве которых, как правило, применяются конечные выключатели.

В качестве датчиков положения могут также использоваться фотодатчики, преимуществом их по сравнению с конечными выключателями является отсутствие непосредственного контакта между контролируемым узлом и датчиком. Недостатками фотодатчиков являются срабатывания при попадании света из постороннего источника или при затемнении посторонними предметами, отказы из-за загрязнения приемника луча, необходимость в усилителях сигнала, сложность регулирования на заданный уровень сигнала.

Применение косвенных методов контроля положения или состояния узлов нежелательно во избежание возникновения ложных команд. Так, если контроль положения узлов производить с помощью датчика усилия (например, реле давления), то при возникновении случайных препятствий движению узла повысится давление в системе гидропривода, в результате чего произойдет ложное срабатывание реле давления.

Контроль наличия детали производится в следующих основных случаях: а) на стыковых позициях смежных транспортных устройств (т. е. на позициях, на которые деталь подается одним устройством, а забирается другим); б) на поворотных устройствах; в) на некоторых промежуточных позициях, где отсутствие детали может вызвать появление ложных команд или нежелательных движений.

На стыковых позициях транспортных устройств отсутствие детали контролируется для того, чтобы упор — конечный выключатель контроля детали — освобождался в конце ухода детали, а нажимался в начале поступления, так как лишь в этом случае действительно будет проверено, свободна ли полностью вся стыковая позиция. Наличие детали используется как команда лишь в том случае, если случайное отсутствие детали на данной позиции не вызывает останова линии, а предыдущий механизм линии совершает следующий цикл для заполнения пустоты. Поворотные устройства имеют контроль детали до поворота и после него. Контроль детали до поворота запрещает подачу следующей детали. Контроль детали после поворота запрещает возврат поворотного устройства до того, как деталь будет с него убрана. Отсутствие такого контроля может привести к тому, что поворотное устройство преждевременно вернется назад и нарушит тем самым автоматический цикл работы.

При установке конечных выключателей контроля детали следует обратить внимание на то, чтобы при уходе детали с позиции сначала освобождался конечный выключатель контроля положения узла, а затем контроля детали. При поступлении детали на стыковую позицию сначала нажимается конечный выключатель контроля детали, а затем — положения узла. В противном случае в схеме возникают ложные команды. Такие случаи бывают, в частности, в поворотных устройствах, когда положение узла контролируется не по платформе, на которой устанавливается деталь, а по приводу. Например, условиями для подачи детали на поворотный стол являются заднее положение стола и отсутствие на нем детали. Если при повороте детали конечный выключатель контроля положения стола еще нажат, а конечный выключатель контроля детали уже освобожден, то это положение и является условием для подачи следующей детали, в результате чего может возникнуть ложная команда на ход подающего транспортера.

К числу промежуточных позиций, на которых необходим контроль наличия детали, относятся:

а) позиции, на которых производится измерение диаметров обрабатываемых отверстий, так как при отсутствии детали подается ложный сигнал о браке по верхнему пределу и команда на останов линии;

б) позиции, на которых производится проверка правильности базирования детали, так как при отсутствии детали подается ложный сигнал о неправильном базировании детали;

в) позиции, на которых установлен вытряхиватель стружки с вынесенной осью поворота, так как при отсутствии детали в этом случае возникает нежелательная неуравновешенность вытряхивателя, приводящая к перегрузке привода.

«Память» о предыдущем состоянии некоторых узлов осуществляется при помощи постановки на самопитание промежуточных реле; при использовании «памяти» в качестве признака следует иметь в виду необходимость своевременного снятия «памяти» для предотвращения повторной выдачи команды.

С помощью реле времени контролируют лишь те операции, для которых время является основным признаком. К числу таких операций относятся, например, мойка детали, выдержка силового узла на жестком упоре для зачистки торца или для улучшения условий удаления стружки из просверленного отверстия, измерение диаметров обработанных отверстий, где выдержка времени необходима для стабилизации давления в пневмоэлектрическом датчике и т. п.

Признаки, обеспечивающие безаварийную работу узла и сохраняющиеся как в автоматическом, так и в наладочном режиме, называются блокировками. Например, ход транспортера вперед не может быть осуществлен, если на последней позиции имеется деталь и не завершены зажим и фиксация на рабочих позициях.

Таким образом, согласно рассмотренному примеру (рис. V-1 и V-2) совокупность управляющих команд, подаваемых системой управления автоматической линии, обеспечивает в автоматическом и наладочном режимах выполнение следующих основных функций:

1) управление работой отдельных встроенных в линию агрегатов (силовые головки, транспортеры, кантователи, накопители и т. д.) для обеспечения их заданных перемещений, скоростей и т. д.;

2) управление рабочим циклом линий и их участков из жестко заблокированных агрегатов для обеспечения заданной последовательности их работы;

3) взаимная блокировка независимо работающих агрегатов или участков линий для обеспечения заданного характера их взаимодействия;

4) быстрое обнаружение места и характера возникающих отказов для максимального сокращения длительности их устранения.

Кроме того, в современных автоматических линиях выполняется и ряд дополнительных функций: учет количества выпускаемых изделий, сигнализация о ходе процессов обработки и качестве изделий — для облегчения работы обслуживающих рабочих.

Рассмотренные примеры показывают, что эти функции не могут быть в должной мере выполнены с помощью механизмов и устройств, применяемых для управления автоматами и полуавтоматами. Так, если управление рабочим циклом автоматов долгое время строилось главным образом на базе распределительного вала с кулачками, то управление автоматическими линиями с самого начала строилось прежде всего по системе управления упорами с широким применением гидравлических, электрических, электронных и других средств. Даже в автоматических линиях, скомпонованных из автоматов, управляемых от РВ, такие функции, как сигнализация, учет готовой продукции, блокировка и другие осуществляются с помощью электрических средств,

Выбор системы управления зависит от требований экономики и специфики технологического процесса, а нередко и от конкретных производственных условий, в которых будет эксплуатироваться линия. С другой стороны, выбранная система управления накладывает свои особенности на кинематику и конструкцию агрегатов линии, так как кинематика и конструкция станков, транспортных систем и вспомогательных устройств неотделимы от системы управления.

В автоматических линиях в последние годы большое применение получили средства электро-, гидро- и пневмоавтоматики; начинает применяться электроника. Наметилось и основное разделение их функций. На электронику и электроавтоматику возлагаются преимущественно функции подачи команд и контроля за их исполнением; исполнение сравнительно медленных команд осуществляется гидравликой, а быстрых — пневматикой.

Развитие современных средств автоматики и электроники и прежде всего механизмов и устройств программного управления позволяет поднять выполнение этих функций на новый, качественно более высокий уровень, а именно — управлять работой агрегатов с оптимизацией режимов их работы, с самоприспособлением и самонастройкой режимов, придавая системам управления не только функции исполнения программы, разработанной человеком, но в значительной степени и сам процесс программирования.

§ 2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН И АГРЕГАТОВ

Автоматическая линия состоит из отдельных агрегатов и устройств. Под агрегатами понимаются как отдельные станки, так и межстаночные механизмы и устройства (транспортеры, накопители заделов, поворотные устройства и т. п.), т. е. все элементы линии, имеющие самостоятельное функциональное назначение и принимающие участие в технологическом процессе изготовления изделия.

Многие автоматические линии выполняются из типового станочного оборудования, в котором уже имеются определенные системы управления на базе упоров, реле времени с кулачками или копиров. Однако в любом из этих станков выполняется определенный цикл. В этом цикле рабочему органу машины сообщается быстрый подвод, рабочая подача, быстрый обратный ход в исходное положение и стоп с фиксацией конечных положений. Наиболее сложный цикл часто осуществляют силовые агрегатные головки, где в рабочем цикле может планироваться две или несколько рабочих подач, паузы, пере-
скоки и т. д.

Цепь управления любым исполнительным или вспомогательным агрегатом автоматической линии включает стандартные или нормализованные элементы электроаппаратуры, которые составляют структурную схему управления, представленную на рис. V-3. Датчики (кнопки управления, путевые выключатели, переключатели, фотоэлементы и фотосопротивления, термопары и т. д.) фиксируют окончание предыдущего элемента цикла главным образом путем преобра-

зования механических или каких-либо физических действий в электрические команды. Передаточно-преобразующие устройства (промежуточное реле, контакторы, реле времени, триггерные ячейки и т. д.) выполняют функцию передачи, распределения и комбинирования, усиления и инверсирования команд, поступающих от датчиков. Исполнительные устройства (электродвигатели, электромагниты, электромагнитные муфты) служат для исполнения очередного элемента цикла. В ряде случаев, когда мощность исполнительных механизмов

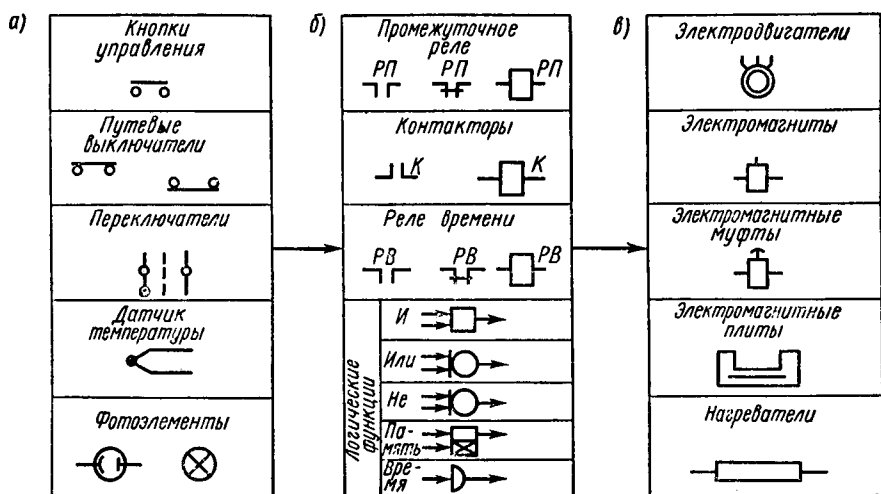


Рис. V-3. Структурная схема управления:

а — датчики; б — передаточно-преобразующие устройства; в — исполнительные устройства

невелика и соизмерима с мощностью, коммутируемой датчиками, а порядок величины напряжений и токов однозначен, можно исключить преобразующие устройства, т. е. в этом случае датчики будут непосредственно подавать команду на исполнительные механизмы.

Таким образом, схемы электрического управления агрегатами автоматических линий состоят из одинаковых элементов, повторяющихся в различных сочетаниях.

На рис. V-4, а приведена схема управления пинольной силовой головкой с кулачковым приводом подачи. Включение электродвигателя головки производится пускателем П, включаемым с центрального пульта управления кнопкой «Пуск» через контакты промежуточного реле РПД в начале работы линии.

Электродвигатель головки при окончании цикла связи с кратковременностью пауз не отключается. Подача команды на начало работы головки производится кратковременным включением электромагнита Э контактами реле пуска головок РПГ, после чего пиноль головки совершает быстрый подвод БП, рабочую подачу РП, быстрый отвод БО и останавливается в исходном положении (рис. V-4, б). Новый

цикл работы головки происходит после повторного включения электромагнита Э. Конечный выключатель КВИ нажат, когда пиноль находится в исходном положении. «Память» о том, что пиноль головки совершает рабочий ход, осуществляется постановкой на самопитание реле РКО, включаемого размыкающим контактом выключателя КВИ. Это же реле предотвращает повторную работу головки в данном цикле. Реле РКО отключается контактами реле отмены «памяти» РОП при подаче одной из последующих команд на какое-либо вспомогательное движение. В наладочном режиме реле РОП отключено. Для

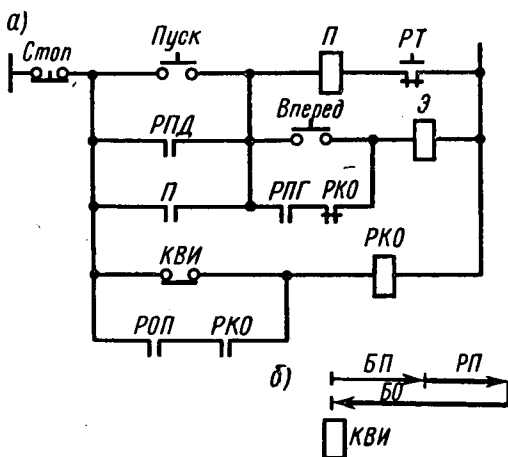


Рис. V-4. Схема управления пинольной силовой головкой:

а — электросхема управления двигателем; б — схема перемещений

управления головкой в наладочном режиме предусмотрены кнопки «Стоп», «Пуск», «Вперед». Защита электродвигателя силовой головки от перегрузки осуществляется тепловым реле РТ. На рис. V-5, а показана схема управления самодействующей силовой головкой с отключением электродвигателя в исходном положении. Пускатель электродвигателя головки П включается каждый цикл через контакты реле пуска РПД, включаемого при состоянии линии, предшествующем пуску головок вперед. Пускатель П становится на самопитание через размыкающий контакт реле конца обработки РКО. При подаче команды «Пуск головок вперед» включается электромагнит ЭВ через контакты реле пуска головок вперед РПГ. После включения электромагнита ЭВ головка совершает быстрый подвод БП (рис. V-5, б), освобождая конечные выключатели исходного положения головки 1КВИ и 2КВИ.

Замыкающие контакты конечного выключателя 2КВИ обрывают цепь питания электромагнита ЭВ, размыкающие — осуществляют обратную связь со схемой линии, сигнализируя о том, что данная головка сдвинута с места. Головка с помощью упора, действующего на золотник гидروпанели, переключается на рабочую подачу РП и производит обработку детали. В конце хода головки нажимается конечный выключатель КВК, включающий реле времени, которое после останова головки на жестком упоре и по истечении заданного интервала времени включает электромагнит ЭН и реле конца обработки РКО, предотвращающее повторное движение головки в данном цикле, и осуществляет «память» о работе головки. Головка совершает быстрый отвод БО в исходное положение, нажимая конечные выключатели

2КВИ и 1КВИ. Выключатель 1КВИ отключает электродвигатель головки, обесточивая пускатель П. Реле конца обработки отключается в одном из последующих состояний линии с помощью контактов реле отмены «памяти» РОП. В наладочном режиме реле РОП отключено. В схеме предусмотрено реле РКЗ, которое включается при падении давления в системе зажима и отводит головку в исходное положение, при этом реле конца обработки РКО не включается.

Схема управления несамодействующей силовой головкой, работающей с подводом и отводом без вращения шпинделей, приведена на рис. V-6, а. Пускатель гидростанции ПГ включается с подачей команды «Пуск двигателей» через контакты реле пуска двигателей РПД. При подаче команды «Пуск головки» контакты реле пуска головок РПГ включают реле «Вперед» РПВ. Реле РПВ становится на самопитание и включает электромагнит ЭВ и ЭН. Головка совершает быстрый подвод БП, освобождая конечный выключатель контроля исходного положения КВИ. Размыкающие контакты конечного выключателя КВП отключают электромагнит ЭН, замыкающие — включают пускатель двигателя вращения шпинделя ПВ. Головка переключается на рабочую подачу РП (рис. V-6, б), включается вращение шпинделей. Через 2—3 мм хода после переключения головки на рабочую подачу нажимается конечный выключатель КВБ, размыкающий контакт которого ставит пускатели ПВ и ПГ на взаимозависимое питание. Таким образом осуществляется контроль включения вращения шпинделей.

В конце обработки нажимается конечный выключатель КВК, включающий реле конца обработки РКО. Реле РКО предотвращает повторную работу головки в данном цикле, осуществляет «память» о работе головки и включает реле «Назад» РПВ. Электромагнит ЭВ отключается, электромагнит ЭК включается, головка совершает быст-

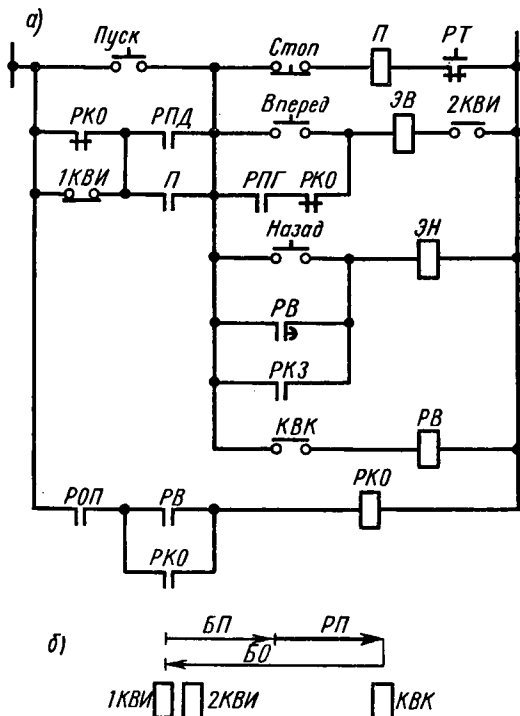


Рис. V-5. Схема управления самодействующей силовой головкой с отключением двигателя в исходном положении:

а — электросхема управления двигателя; б — схема перемещений

рый отвод БО. При движении головки назад последовательно освобождаются конечные выключатели КВК, КВБ и КВП. Выключатель КВБ подготавливает независимое питание пускателя ПГ, выключатель КВП отключает пускатель ПВ; при этом головка продолжает движение назад без вращения шпинделей. В исходном положении нажимается конечный выключатель КВИ, отключающий реле РПН, электромагнит ЭН отключается и головка останавливается. Реле РКО отключается в одном из последующих состояний линии контактами реле отмены «памяти» РОП. В схеме предусмотрено реле контроля зажима РКЗ, которое включается при падении давления в системе зажима и отводит головку назад.

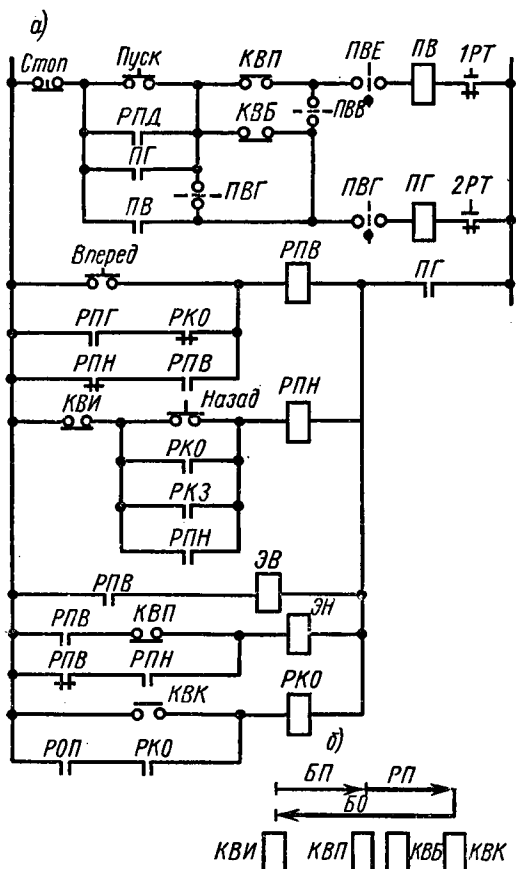


Рис. V-6. Схема управления несамодельствующей силовой головкой:

а — электросхема; б — схема перемещений

Пакетные выключатели ПВВ и ПВГ позволяют вести наладку головки без вращения шпинделей и вращать шпиндели в исходном положении головки. С помощью пакетных выключателей можно также исключить головку из работы линии.

Таким образом, приведенные примеры показывают, что любое усложнение задач управления сверхминимального объема (подвод, отвод, останов) приводит к резкому усложнению схемы управления данными агрегатами.

В общей системе управления автоматической линией с жесткой межагрегатной связью (см. рис. V-1) схемы управления отдельных агрегатов имеют характер автономных подсистем. Они получают внешний сигнал на пуск данного агрегата, совершают полный заданный цикл перемещений с контролем по величине и последовательности, после чего отключаются, подавая внешний сигнал об отработке данного цикла. Такой принцип легко реализуется не только на базе схем, работающих по упорам (см. рис. V-4, V-5, V-6), но и

посредством системы с распределительным валом, который после включения делает полный оборот и самовыключается.

Системы управления рабочим циклом линии выполняют прежде всего функции синхронизации работы отдельных агрегатов, которые согласно циклограмме работы линии жестко блокированы. Поэтому если схемы управления работой отдельных агрегатов обеспечивают выполнение отдельных «строк» циклограммы (см. рис. V-2), то система управления линией обеспечивает их координацию по параметрам начала и окончания работы.

Цикл работы любой развитой автоматической линии с жесткой межагрегатной связью предусматривает строгую очередность срабатывания отдельных агрегатов, каждый из которых начинает работу лишь после окончания работы предшествующего. Кроме того, имеются агрегаты, совмещенные по времени работы с другими. Так, для линии из агрегатных станков (рис. V-1) согласно циклограмме (рис. V-2) последовательно работают: 1) шаговый транспортер; 2) механизмы зажима и фиксации (все одновременно); 3) силовые головки (все одновременно); 4) механизмы зажима и фиксации. В зависимости от способов управления такой последовательностью различают три варианта построения систем управления: централизованные (рис. V-7, а), децентрализованные (рис. V-7, б) и смешанные (рис. V-7, в) системы управления циклом автоматических линий.

Пусть в автоматической линии или ее участке с жесткой связью имеется n типов агрегатов, которые срабатывают в заданной циклограммой последовательности.

Централизованные или зависимые системы управления (рис. V-7, а) характерны тем, что все управление циклом работы агрегатов производится от центрального командного устройства — командоаппарата K , пульта, распределительного вала, считывающего устройства с лентопротяжным механизмом независимо от действия и положения исполнительных рабочих органов. В таких системах управления продолжительность рабочего цикла для каждого исполнительного органа является постоянной величиной (в механических системах управления обычно равна периоду одного оборота распределительного вала). В автоматических линиях в качестве центрального командного устройства обычно используются командоаппараты (рис. V-7, а). Исполнительные механизмы линии получают

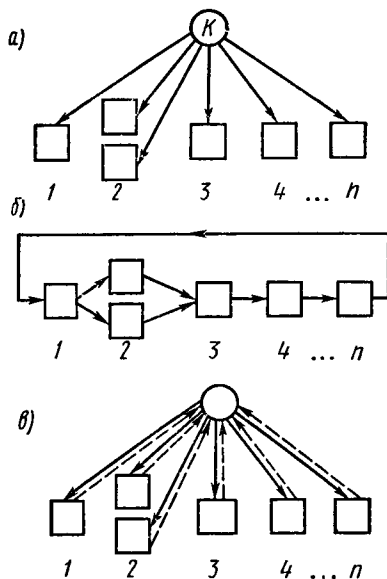


Рис. V-7. Принципиальные схемы вариантов построения систем управления циклом автоматической линии:

а — централизованные; б — децентрализованные; в — смешанные; 1, 2, 3, 4, ... — типы агрегатов

соответствующие команды либо через электрические цепи, замыкаемые кулачками командоаппарата, либо через гидравлические или пневматические устройства.

Централизованные системы управления линиями являются наиболее простыми, имеют наименьшее количество электрических (гидравлических или пневматических) связей, удобны в обслуживании и наладке (например, при переводе автоматической линии в наладочный режим связи легко прерываются).

Рассмотрим пример практического применения централизованной системы управления автоматической линии монтажа радиодеталей на печатных платах телевизоров. Линия (рис. V-8) включает шаго-

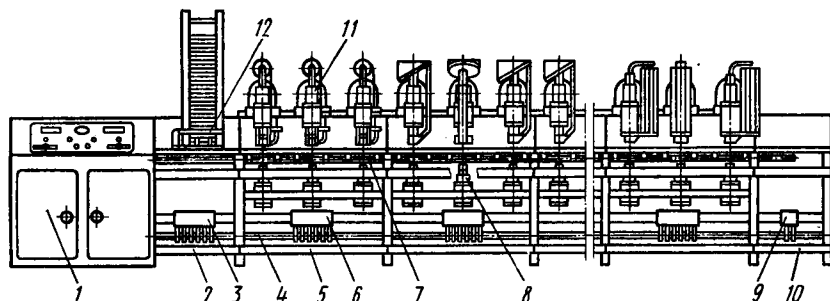


Рис. V-8. Автоматическая линия монтажа радиодеталей на печатных платах:

1 — пульт управления; 2 — головная секция; 3 — головной распределитель; 4 — распределительный вал; 5 — типовая рабочая секция; 6 — секционный распределитель; 7 — шаговый транспортер; 8 — подгибочная головка; 9 — хвостовой распределитель; 10 — хвостовая секция; 11 — автоукладчик; 12 — магазин печатных плат

вый транспортер с магазином печатных плат, комплект автоукладчиков и подгибочных головок для установки и закрепления радиодеталей на печатных платах и устройства для управления работой всех механизмов. Шаговый транспортер захватывает из магазина последовательно по одной плате и подает их на рабочие позиции с автоукладчиками и подгибочными устройствами. Во время остановов транспортера каждый из автоукладчиков устанавливает на печатную плату по одной радиодетали, которая закрепляется подгибочным устройством. Таким образом, в конце линии с транспортера сходят полностью собранные узлы.

Всего линия снабжена 52 автоукладчиками и 52 подгибочными головками для установки скоб-перемычек двух типоразмеров; постоянных сопротивлений типа МЛТ двух типоразмеров (любых номиналов); постоянных конденсаторов типа БГМТ и БМТ (трех типоразмеров любых номиналов).

Конструктивное решение линии предусматривает возможность переналадки и замены автоукладчиков и подгибочных устройств, которые могут применяться в различных комбинациях для укладки радиодеталей в различные печатные платы. Линия может работать в двух режимах: режиме постоянной настройки, при котором на линии соби-

рают один вид плат и она не перенастраивается длительное время; режим ежедневной переналадки, при котором на линии в первую смену происходит сборка какого-либо одного вида плат, а во вторую смену линия перенастраивается с тем, чтобы в первую смену следующего дня начать сборку другого вида плат.

Рабочий цикл линии идентичен циклу линии из агрегатных станков (см. рис. V-2) и включает следующие элементы: перемещение плат, их фиксацию и зажим, установку радиодеталей на платы и их закрепление, расфиксацию плат для очередного шагового перемещения вдоль линии. Поэтому система управления циклом линии обеспечивает последовательное срабатывание следующих основных агрегатов: 1) шаговый транспортер, 2) механизмы зажима и фиксации на всех позициях, 3) автоукладчики (все одновременно), 4) механизмы подгибки (все одновременно), механизмы зажима и фиксации. Кроме того, синхронизирована работа магазина выдачи плат на транспортер и других механизмов.

Схема управления рабочим циклом линии показана на рис. V-9. Автоматическая линия управляется при помощи распределительного вала 1, проходящего вдоль всей линии, который приводится во вращение электродвигателем через редуктор (на схеме не приведен) со скоростью до 20 об/мин, что соответствует рабочему циклу $T = 3с$. От плоских кулачков распределительного вала получают команду головной распределитель 2, секционные распределители 3, хвостовой распределитель 4.

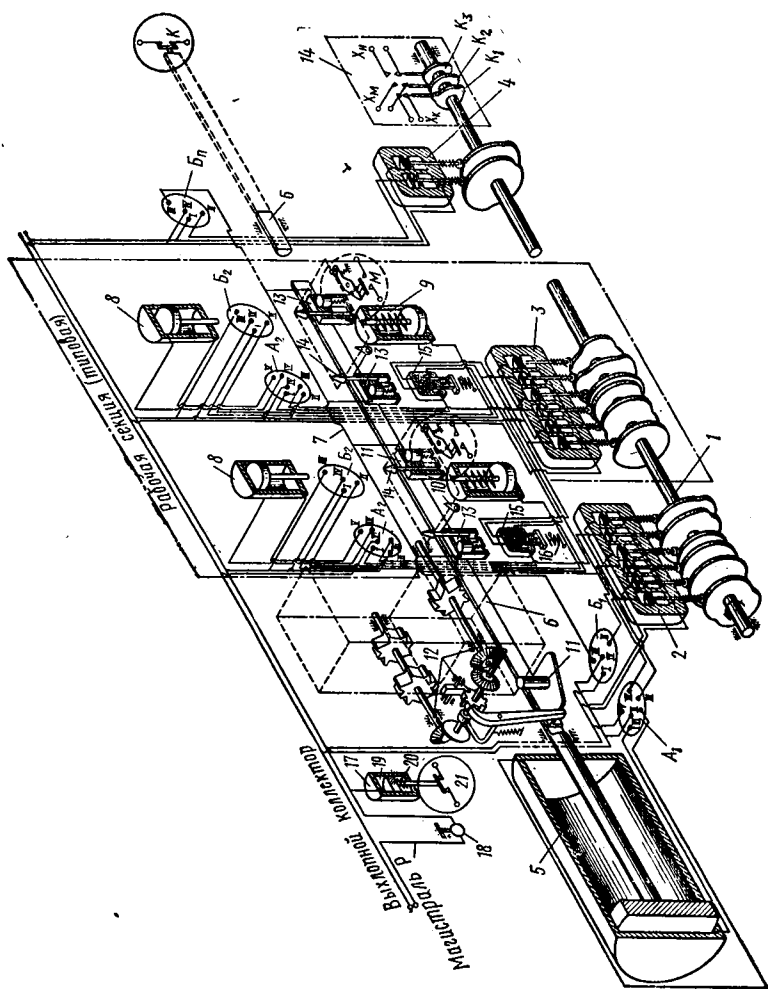
Распределители, включенные через систему кранов А и Б, осуществляют автоматическое управление всеми основными исполнительными механизмами линии, выполняющими работу посредством сжатого воздуха.

Головной распределитель 2 осуществляет автоматический цикл воздухораспределения от магистрали Р на рабочий цилиндр 5 штангового транспортера 6 и на коллектор фиксаторов 7. Коллектор фиксаторов для большей надежности подпитывается с двух сторон, поэтому хвостовой распределитель 4 обеспечивает автоматический цикл воздухораспределения от магистрали Р только на коллектор фиксаторов.

Секционные распределители 3 (общее их число 17) осуществляют автоматический цикл воздухораспределения от магистрали Р на рабочую секцию, состоящую из постоянного числа автоукладчиков радиодеталей с приводом в виде двухполостного цилиндра 8 и подгибочных устройств, имеющих привод в виде однополостного цилиндра 9 с возвратом поршня посредством пружины (на схеме показана секция из двух автоукладчиков и подгибочных устройств). На большой автоматической линии (52 автоукладчика) рабочая секция состоит из трех автоукладчиков и парных им подгибочных головок.

Принципиально возможны любые другие конструкции приводов автоукладчиков и подгибочных устройств как механических, так и пневматических, которые могут управляться от распределительного вала непосредственно либо через секционные распределители.

Транспортер 6 представляет собой штангу фасонного профиля, несущую флажки 10, которые перемещают печатные платы, лежащие



в направляющих линии, от одной рабочей позиции к другой. Штанговый транспортер получает возвратно-поступательное движение через рабочий цилиндр 5.

Упор 11 приводит в действие магазин 12 печатных плат, который при каждом холостом ходе штанги выдает по одной печатной плате на направляющие автоматической линии, а при рабочем ходе досылает выданную из магазина плату на фиксаторы и флажки подачи. Магазин получает платы при помощи кассеты, которую в процессе работы либо заменяют другой, либо подпитывают.

В конце рабочего хода штанги фиксаторы 13 перехватывают печатные платы с флажков 10 конусными штырями 14, осуществляя точную фиксацию плат на рабочих позициях под автоукладчиками во время установки и закрепления радиодеталей.

Система кранов *A* и *B* позволяет легко производить наладку линии. Кроме включения автоматического цикла воздухораспределения посредством этих кранов выполняются ручные переключения механизмов линии. В частности, при помощи четырехпозиционного крана типа *A* можно перемещать ручным переключателем штанговый транспортер вне цикла (кран A_1 , комбинации $I-V$ и $II-VI$ или $II-V$ и $I-VI$), осуществлять ручным переключением вне цикла рабочий и холостой ходы автоукладчиков 8 (краны A_2 , комбинации $II-VI$ и $V-VI$ или $II-V$ и $IV-VI$).

При помощи трехпозиционного крана типа *B* возможно: при комбинациях $III-IV$ крана B_2 ручным переключением крана B_1 утапливать и выдвигать конусные штыри 14 фиксаторов вне цикла (комбинации $I-III$ или $III-IV$); осуществлять ручным переключением вне цикла рабочий и холостой ходы подгибочных устройств 9 (краны B_2 , комбинации $II-III$ или $II-IV$).

В приборостроении примером применения централизованных систем управления циклом являются автоматические линии обработки корпуса наручных часов, внедренные на ряде заводов. Управление осуществляется от распределительного вала, проходящего сбоку параллельно геометрической оси линии, привод от кулачков ко всем исполнительным механизмам осуществляется механически с помощью рычажных и реечных передач и др.

В централизованных системах управления циклом автоматических линий подсистемы управления работой отдельных агрегатов могут быть упрощены до предела (устройства контроля наличия хода) или вообще отсутствовать, что упрощает систему в целом.

Однако системы централизованного управления имеют существенные недостатки: подача команд с центрального командоаппарата осуществляется вне зависимости от действия и положения исполнительных механизмов без учета полного выполнения предыдущего элемента цикла, в связи с чем возникает необходимость иметь дополнительные блокировочные и предохранительные устройства.

Централизованные системы управления, как правило, совершают холостые ходы по 1-й группе, т. е. рабочие и холостые ходы могут изменяться только пропорционально. Часто это является недостатком, так как большая длительность отдельных элементов цикла заставляет

искусственно увеличивать и другие рабочие и холостые ходы. Все указанные недостатки привели к тому, что централизованные системы управления в современных автоматических линиях широкого применения не получили.

Децентрализованные системы управления, называемые иногда путевыми, осуществляют управление при помощи упоров-датчиков (чаще всего путевых переключателей и конечных выключателей), включаемых движущими исполнительными рабочими органами автоматической линии или самой деталью. Эти системы основаны на управлении упорами и копирами. Число устанавливаемых упоров равно числу фиксированных положений механизмов (детали). Все исполнительные органы автоматической линии связаны между собой так, что каждое последующее движение производится только после окончания предыдущего. Например, перемещение обрабатываемых деталей на автоматической линии транспортером возможно только тогда, когда все заготовки уже разжаты и расфиксированы, а все силовые головки находятся в исходном положении.

Таким образом, при децентрализованных системах управления управляющие функции поочередно выполняют агрегаты — объекты управления, передавая друг другу замкнутую «эстафету управления» посредством входных и выходных сигналов (см. рис. V-7, б). Здесь основную роль играют автономные и полностью независимые подсистемы управления отдельными агрегатами, связанные друг с другом в соответствии с заданной последовательностью срабатывания лишь адресом выдаваемых команд о начале или окончании своей работы.

Преимуществом этой системы управления является отсутствие сложной блокировки, так как команды подаются только после окончания предыдущего элемента цикла. Недостатком этой системы является то, что многочисленные датчики, работающие в рабочей зоне, нередко выходят из строя из-за попадания стружки, пыли, масла; часто подают неправильные команды вследствие закорачивания или обрыва электрических цепей: элементы промежуточных цепей и цепи в целом не являются достаточно надежными в работе.

Во время выполнения автоматического цикла при децентрализованных системах управления в линии могут возникать одинаковые ситуации, при которых в одних случаях подается команда на очередное движение, а в других — такой команды нет. Например, силовая головка по каким-либо причинам не пошла вперед и осталась в исходном положении. Для предотвращения очередного элемента цикла работы в линии в системе управления наряду с датчиками положения следует иметь элементы «памяти», запоминающие предыдущее состояние линии и в связи с этим выдающие или запрещающие подачу очередной команды.

На рис. V-10 в качестве примера приведена электросхема «запоминания» работы силовых головок линии. В конце обработки деталей конечные выключатели $1KB-3KB$ (количество их соответствует числу силовых головок) нажимаются упорами силовых головок и включают промежуточные реле $1РП$, $2РП$ и т. д. При возвращении силовых головок в исходное положение промежуточные реле остаются

на самопитании. Только после того как необходимость в «запоминании» конца обработки отпадает (это происходит один раз в начале следующего элемента цикла работы автоматической линии), самопитание всех промежуточных реле прекращается конечным выключателем $5KB$. Из последовательно включенных контактов реле $1PP$, $2PP$, $3PP$ и промежуточного реле PP , подающего команду на исполнение следующего элемента цикла, составляется новая электрическая цепь (рис. V-11). Для предупреждения начала следующего элемента цикла работы линии, если какая-либо головка не работает, исходное положение силовых головок и других узлов линии

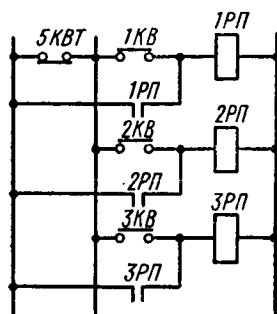


Рис. V-10. Электросхема «запоминания» работы силовых головок при помощи промежуточных реле

также контролируется электрической цепью, состоящей из последовательно включенных нормально открытых контактов конечных выключателей. При отходе в исходное положение каждая силовая головка замыкает свой конечный выключатель.

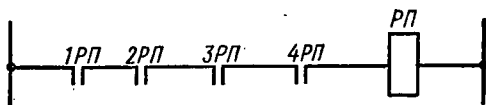


Рис. V-11. Электросхема «суммирования» работы силовых головок

На рис. V-12 показана электросхема, которая объединяет цепь, контролирующую конец обработки детали. Питание реле PP (оно подает команду очередному агрегату) осуществляется, если все головки возвращены в исходное положение (нормально открытые контакты

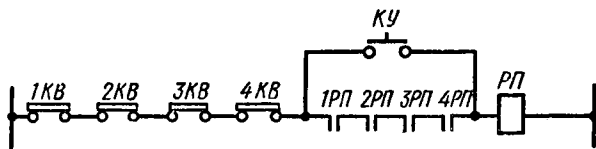


Рис. V-12. Электросхема, контролирующая силовые головки в их исходном положении и в конце обработки:

$1KB - 4KB$ — датчики исходного положения головок; PP — промежуточные реле; $1PP - 4PP - КУ$ — кнопки управления

конечных выключателей $1KB-4B$ замкнуты) и все головки совершают обработку детали (нормально открытые контакты реле $1PP-4PP$ замкнуты). Совмещение двух и более электрических цепей в одну проводится с целью сокращения промежуточных реле в схеме. Кнопка управления $КУ$, нажимаемая оператором при начальном пуске линии,

в данной схеме применяется для шунтирования участка цепи конца обработки детали.

Особое внимание при децентрализованном управлении следует обращать на своевременную отмену созданных команд. Каждая команда, подаваемая на очередной агрегат, отменяется после начала или окончания ее выполнения. Если команда выдается на различные, не связанные друг с другом процессы или движения, то отмена команды происходит только после начала или окончания каждого из движений. При этом движения, заканчивающиеся раньше других, не должны повторно принимать неотмененную еще команду.

Одним из способов предотвращения повторного выполнения является импульсный метод подачи команд. На рис. V-13 приведена схема

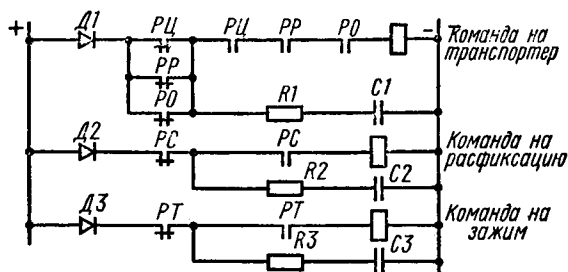


Рис. V-13. Электросхема блока команд управления линией

блока команд управления линией. Каждая команда после того как срабатывает предыдущий агрегат, подается в течение непродолжительного времени, определяемого временем разрядки конденсатора на соответствующее промежуточное реле. Так, например, команда на ход транспортера происходит после того, как отключается и вновь включается реле контроля отжима *PO* и расфиксации *PP*; команда на фиксацию — после того как отключается и включается реле контроля положения транспортера *PT*; команда на расфиксацию — после того как отключается и включается реле исходного положения станков и т. д. При отключенных реле происходит зарядка конденсаторов, при включенных — их разрядка на соответствующее реле. Недостатком такой схемы является подача команды непосредственно от данного процесса вне зависимости от общего состояния линии.

Децентрализованные системы управления являются классическим примером систем группы II по принципу совершения холостых ходов. Так как настройка и выполнение всех элементов рабочего цикла линии взаимно независимы (они связаны лишь входными и выходными сигналами), любая интенсификация режимов обработки или иное изменение длительности рабочих ходов не оказывает влияния на остальные рабочие и холостые ходы, что является преимуществом.

Смешанные системы управления (см. рис. V-7, в) несут в себе характерные черты и централизованных и децентрализованных систем управления. Управление последователь-

ностью работы агрегатов осуществляется посредством командоаппаратов, как в централизованных системах, но каждый новый элемент цикла может начаться только после сигнала о срабатывании предыдущего агрегата, как в децентрализованных системах. Это достигается тем, что выходные сигналы от схем управления отдельными агрегатами об обработке заданных перемещений поступают обратно в командоаппарат (см. рис. V-7, в — пунктиром). Только после этого командоаппарат подает команду схеме управления очередного.

Смешанные системы управления являются комбинацией первых двух систем. Например, центральный командоаппарат управляет

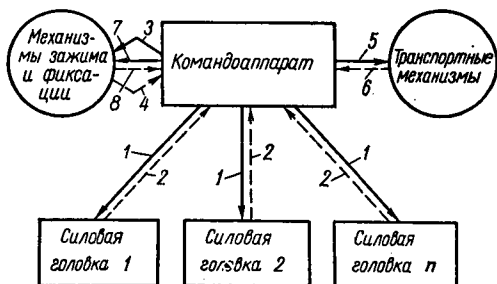


Рис. V-14 Функциональная схема управления участком автоматической линии 1Л185

всем циклом автоматической линии; наряду с этим осуществляется контроль выполнения очередных команд при помощи путевых датчиков агрегата для нового элемента цикла. Вал командоаппарата при нормальной работе линии вращается непрерывно или дискретно, при невыполнении очередной команды командоаппарат отключается. Несмотря на то что смешанные системы обладают некоторыми недостатками первых двух систем, они имеют большие перспективы применения, как более гибкие и универсальные.

Рассмотрим пример практического применения системы смешанного управления — функциональную схему управления участком автоматической линии обработки картера коробки передач автомобиля ЗИЛ-130, где реализуется циклограмма, аналогичная циклограмме (см. рис. V-2).

Командоаппарат выполняет функцию централизованного управления всеми целевыми механизмами линии (рис. V-14). Примем за нулевое положение пуск силовых головок. Полный цикл обработки детали на линии выполняется системой управления в такой последовательности: командоаппарат выдает электрические команды 1 одновременно на все силовые самодействующие головки, каждая из которых посредством собственной автономной подсистемы (см. рис. V-2) отработывает заданный для нее цикл (быстрый подвод — рабочая подача — быстрый отвод) и подает сигнал 2 об окончании работы. После того как все головки выполнят работу, отойдут в исходное положение и передадут об этом сигналы 2 в командоаппарат, который дает очередную команду 3 на механизмы разжима и расфиксации деталей и после получения сигнала 4 о выполнении этой команды, подается команда 5 в транспортное устройство для перемещения деталей. По окончании транспортирования в командоаппарат поступает сигнал 6 и выдается команда 7 на фиксацию и зажим деталей, об окончании

фиксации и зажима в командоаппарат подается сигнал 8 и выдаются вновь команды 1 на силовые головки секции, цикл повторяется.

На рис. V-15 представлена принципиальная схема подачи команд на силовые головки и приема информации командоаппаратом. Кулачок 1 командоаппарата замыкает конечный выключатель 2, который включает в цепь электромагниты пуска силовых головок 3, 4, 5. Силовые головки отработывают свой цикл и возвращаются в исходное положение, что фиксируется замыканием путевых выключателей 6, 7, 8. После того как все головки вернутся в исходное положение, замкнется электрическая цепь U , в которую входят путевые выключатели

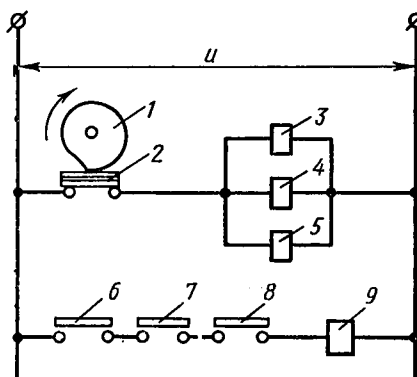


Рис. V-15. Схема выдачи и приема команд командоаппаратом

6, 7, 8 и электромагнит 9 включения привода поворота командоаппарата. Вал с кулачками командоаппарата поворачивается и кулачки осуществляют коммутацию, подавая очередную серию команд на соответствующие механизмы линий.

Таким образом, основным механизмом смешанной системы управления автоматическими линиями являются командоаппарат, выдающий в заданной последовательности команды элементам привода, контролирующий их выполнение и отменяющий предыдущие команды перед подачей последующих. Командоаппарат может быть выполнен

в виде специального электромеханического устройства с электрическим, гидравлическим или пневматическим приводом. В качестве командоаппарата можно использовать шаговый искатель; командоаппарат может быть выполнен также на промежуточных реле с механической или магнитной памятью.

Особенность централизованного метода состоит еще и в том, что при этом управлении четко выделяются командные позиции в циклограмме линии; обеспечивается жесткая последовательность движений; команды выдаются непосредственно исполнительным механизмам; исключается выдача разноречивых команд; контролируется исполнение выданных команд и после получения сигнала об исполнении происходит их отмена, т. е. осуществляется обратная связь.

На рис. V-16 показана гидрокинематическая схема командоаппарата типа МН4949-63 конструкции МСКБ АЛ и АС, который состоит из следующих узлов: двух кулачковых валов 2 с установленными на них кулачками 15 и исполнительных контактных элементов-контакторов 14 (по возможному числу управляемых агрегатов), каждый из которых имеет неподвижные контакты 10, замыкающиеся при нажатии кулачка на контактный рычаг 12. Во включенном состоянии контактный рычаг с установленным на нем контактным мостиком 11 удерживается рычагом-защелкой 13 и при нажатии кулачка на

ролик последнего возвращается в исходное положение, размыкая цепь. Кулачковые валы связаны между собой зубчатой передачей с отношением 1:1 и поворачиваются одновременно на одинаковый угол. На оси одного из валов находится храповое колесо 3, приводимое в прерывистое движение рычагом 4, установленным на выходной оси 8

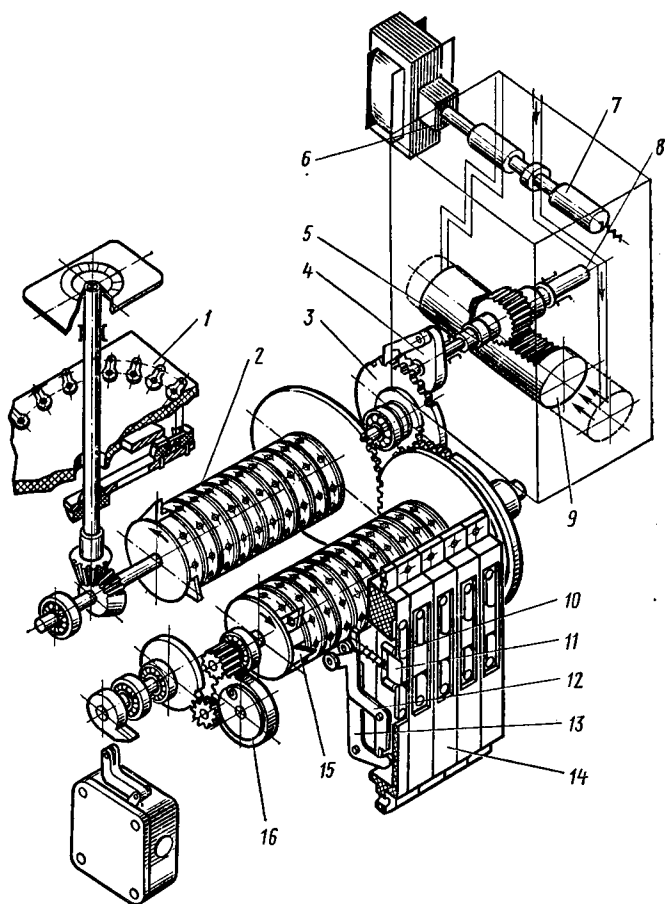


Рис. V-16. Гидрокинематическая схема командоаппарата конструкций МСКБ АЛ и АС

гидропривода. Гидропривод поворота валов командоаппарата работает следующим образом: масло, подаваемое в золотник 7, воздействует попеременно на торцы плунжера 9 в зависимости от того, включен или отключен электромагнит 6, управляемый золотником.

В результате плунжер 9 совершает прерывистое возвратно-поступательное движение, преобразуемое реечной передачей в возвратно-поступательное движение оси 5, на которой установлен храповик 4 храпового механизма, вращающего кулачковые валы 2.

Командоаппарат имеет два конечных выключателя, контролирующих положение плунжера 9 и управляющих включением и отключением электромагнита 6. С одним из валов 2 коммутирующего устройства связан через коническую зубчатую пару ползунковый переключатель 1 (имеющий число положений, равное числу позиций командоаппарата), который служит для переключения питания электромагнита с одной электрической цепи на последующие. С кулачковым валом связан также счетный механизм 16, снабженный конечным выключателем. Этот механизм служит для подачи команд на смазку приспособлений.

Недостатком смешанного, как и централизованного управления, является наличие дополнительного управляющего устройства — электромеханического или схемного, которое может накладывать свои отказы на отказы электросхемы. Это особенно существенно при исполнении командоаппарата в виде электромеханического устройства, который является сложным аппаратом. Отказы командоаппарата, особенно проскакивание через позицию, может привести к серьезным авариям автоматической линии. Другим недостатком является меньшее быстродействие по сравнению со схемами, построенными по системе децентрализованного управления (см. рис. V-7, б), так как время работы командоаппарата увеличивает цикл обработки детали.

§ 3. СИСТЕМЫ БЛОКИРОВКИ, СИГНАЛИЗАЦИИ И ОТЫСКАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Управление работой автоматических линий выполняется в подавляющем большинстве случаев средствами электроавтоматики, что обуславливается простотой объединения станков и других агрегатов линии, расположенных на значительном расстоянии друг от друга. Системы управления рабочим циклом линий характерны для автоматических линий с жесткой межагрегатной связью, где взаимосвязь работы отдельных агрегатов обычно однозначна, последовательность или параллельность работы во времени строго регламентирована.

Следует заметить, однако, что даже в линиях, разделенных на участки-секции из жестко сблокированных станков, отдельные участки и накопители конструктивно независимы, взаимосвязь их работы достаточно многообразна. Так, в простейшей двухучастковой линии с одним промежуточным накопителем (см. рис. V-1) возможны следующие функциональные состояния.

1. При промежуточном уровне запаса деталей в накопителе ($0 < E < E_{\max}$) оба участка работоспособны, линия выдает продукцию, количество деталей в накопителе остается неизменным ($E = \text{const}$). Накопитель транзитного типа работает на проход, накопитель тупикового типа отключен.

2. При промежуточном уровне запаса в накопителе первый участок линии неработоспособен, количество деталей в накопителе уменьшается. Если отказ устранен раньше, чем количество деталей в накопителе станет равным нулю, выпуск продукции на линии не прерывается.

3. При промежуточном уровне запаса деталей в накопителе второй участок линии неработоспособен, линия не выдает продукцию, количество деталей в накопителе увеличивается. Если отказ устранен раньше, чем накопитель заполнен целиком, второй участок продолжает работать бесперебойно.

4. При отсутствии запаса в накопителе оба участка линии работоспособны, линия выдает продукцию, уровень запасов остается нулевым.

5. При отсутствии запаса в накопителе первый участок линии неработоспособен, линия не выдает продукцию, несмотря на исправность второго участка.

6. При полном заполнении накопителя оба участка линии работоспособны, линия выдает продукцию, уровень запаса остается максимальным.

7. При полном заполнении накопителя второй участок линии не работает, линия не выдает продукции, уровень запаса остается максимальным.

Очевидно, система управления автоматической линии должна обеспечивать не только управление по жесткой программе рабочим циклом отдельных агрегатов и целых участков, но и содержать специальные схемы, осуществляющие взаимную блокировку работы обоих участков и накопителя, т. е. автоматическое изменение режима работы всей системы в соответствии с ее состоянием.

Наиболее сложными являются схемы взаимной блокировки в автоматических линиях с гибкой межагрегатной связью, где наличие межоперационных заделов дает возможность каждому встроенному в линию агрегату работать независимо.

Задача управления и взаимосвязи оборудования линии с гибкой связью сводится к созданию такой системы, при которой задержки одной машины, участка или части транспортера не вызывали бы немедленного прекращения работы последующих или предыдущих смежных машин или участков. Блокирующие схемы отключают смежные агрегаты только при исчезновении заделов между ними (или переполнения накопителей). Этому основному условию подчинены схемы электрического привода и управления.

Различная компоновка оборудования приводит к разнообразным взаимосвязям станков и транспортных систем. Чтобы сделать управление отдельными объектами технологического и транспортного назначения достаточно гибким, необходимо выполнение следующих условий:

1. Взаимосвязь и блокировка смежных агрегатов осуществляется при помощи контроля наличия обрабатываемых деталей. При этом каждый станок работает только в том случае, если имеется деталь в подводящем канале и ее нет на позиции выгрузки.

2. На участках с последовательным расположением оборудования на стыке транспортеров станка или участка не допускается механическое столкновение смежных транспортеров при их несогласованной работе.

3. Каждый станок, транспортер или магазин должен управляться

и работать автоматически и самостоятельно при наличии связей, указанных в первых двух условиях.

4. Транспортёры и лотки максимально используются в качестве накопителя обрабатываемых деталей.

На рис. V-17 показана мнемоническая схема участка линии с гибкой связью, состоящего из трех параллельно работающих станков, подъемника, транспортёра-распределителя и системы отвода.

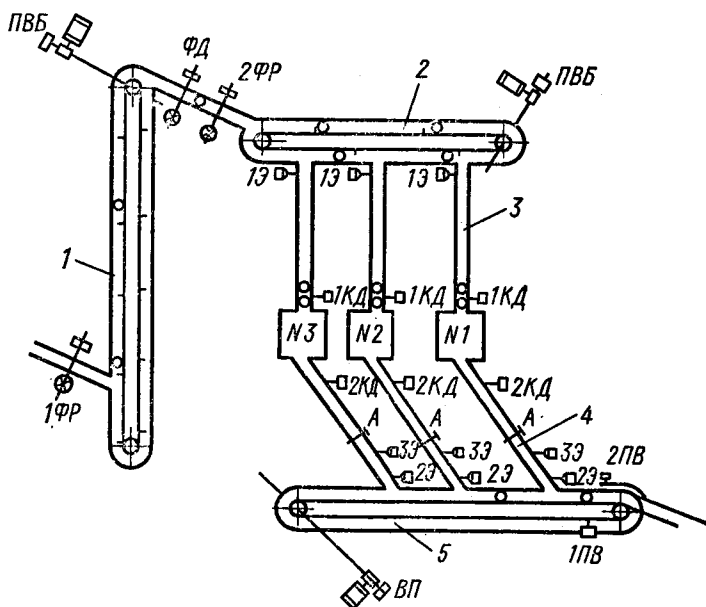


Рис. V-17. Мнемоническая схема участка линии с гибкой связью:

1 — подъемник; 2 — транспортёр-распределитель; 3 — приемный лоток; 4 — отводящий лоток; 5 — отводящий транспортёр; 1ФР — первое фотореле; ФД — фотодиодный датчик; 2ФР — второе фотореле; 13, 23, 33 — электромагниты отсекаелей; 1КД, 2КД — контактные датчики; А — ручной отсекаель; 1ПВ — путевой выключатель; 2ПВ — предохранительный выключатель; ПВБ и ВП — выключатели перегрузочных муфт; № 1, 2, 3 — станки

Цепной подъемник 1 непрерывно подает заготовки в транспортёр-распределитель 2, в котором всегда имеется задел, позволяющий работать станкам № 1, 2 и 3 даже при наличии отказов подъемника. Транспортёр-распределитель имеет замкнутую цепь с толкателями, ведущими кольцо с верхней ветви на нижнюю, где они распределяются по приемным лоткам станков. В лоток кольцо попадает только в том случае, если в нем имеется свободное место для очередной детали. Если лотки, соединяющие транспортёр-распределитель со станком № 1, 2 или 3, по каким-либо соображениям полностью заполнять невозможно, то датчик 1КД, контролирующий наличие деталей на входе в станок, при освобождении от колец включает электромагнит

1Э, который обеспечивает поступление к станку очередной детали. Если полное заполнение подводящих лотков допустимо, электромагнит 1Э с отсекателем не устанавливается.

Датчик 1КД остается во всех случаях, так как он выполняет еще одну функцию: поддерживает автоматическую работу станка при наличии колец в подводящем лотке. Освобождение 1КД вызывает задержку автоматической работы станка, но не выключает ее.

При этом цикл станка завершается до заранее намеченного исходного положения. Появление очередной детали в лотке вызывает продолжение автоматической работы станка от 1КД. Производительность транспортера выбирается несколько большей, чем производительность станков; поэтому перерывов в автоматической работе станков обычно не бывает. При недостатке обрабатываемых деталей периодически простаивает последний (в данном случае третий) станок.

Электрическая связь станков с отводящими транспортерами 5 также осуществляется через контроль наличия деталей в отводящих лотках 4. Задача датчика 2КД сводится к контролю максимального наполнения отводящего лотка. Если к началу нового цикла станка датчик информирует о полном заполнении лотка, то либо не происходит начало нового цикла, либо выключается автоматическая работа соответствующего станка.

Сигнал о переполнении отводящего лотка можно получить разными способами: от одного датчика и реле времени; от одного датчика и контрольного контакта из схемы защищаемого станка; от двух датчиков; от фотодатчика.

Приемные лотки 3, играющие роль магазинов на загрузке, все время поддерживаются в заполненном состоянии. Следовательно, при случайных задержках подачи колец или при кратковременном останове питающего транспортера (на 10—20 мин) станки продолжают работать, пока не израсходуются все детали в приемных лотках.

Аналогичную роль выполняют отводящие лотки 4. Они не заполнены кольцами, поэтому при переполнении отводящего транспортера 5 кольцами или при его кратковременном останове (20—30 мин) станки также могут продолжать автоматическую работу благодаря резервной емкости отводящих лотков. Контроль невыполнения отводящих лотков устанавливается с учетом использования их в качестве накопителей.

На рис. V-18, а показана принципиальная электросхема подъемника. В качестве привода подъемника применен асинхронный электродвигатель с редуктором, имеющим перегрузочную муфту ПВБ. При срабатывании муфты контакты выключателя ПВБ замыкаются и включают 1РВ на 0,5—1 с. При этом электродвигатель включается в обратную сторону. Если муфта срабатывает от заедания детали в канале приема или выдачи, то при реверсе цепи она освобождается и принимает правильное положение. После указанного времени электродвигатель подъемника от реле времени 1РВ автоматически включается на ход вперед. Автоматический кратковременный реверс устраняет случайные задержки работы подъемника, облегчая тем самым его обслуживание.

при наличии деталей на входе в подъемник и свободном отводящем лотке. При переполнении отводящего лотка или отсутствии деталей на входе подъемник останавливается (от размыкания контактов 2ФРП).

Вся электроаппаратура и органы управления сосредоточены в шкафу, укрепленном на подъемнике. Таким образом, подъемник представляет собой полностью автономный, автоматически действующий транспортный агрегат. После включения кнопкой *2КУ* реле автоматической работы *РАР* подъемник работает только по информации, поступающей от фотодатчиков *1ФР* и *2ФР*. Работа по информации в отличие от непрерывной работы значительно экономит электроэнергию и резко снижает износ подъемника. Для счета деталей в подъемнике предусмотрен быстродействующий, безынерционный фотодиодный датчик *ФД* (рис. V-18, б).

Датчик вместе с полупроводниковым усилителем может работать на два импульсных электромеханических счетчика. Один из них уста-

178



а — электросхемы подъемника; *б* — схема включения фотодиодного датчика

30—150 мкФ. Если обмотка реле и конденсатор включается параллельно, то при разрыве управляющего контакта, например *ПВБ*, реле удерживается вследствие напряжения конденсатора. Время задержки зависит от величины емкости конденсатора и величины разрядного сопротивления.

Электрическая схема управления транспортером-распределителем (рис. V-19) также предусматривает его самостоятельную автоматическую работу при взаимной блокировке его сменными агрегатами (подъемником и приемными лотками станков).

Редуктор электродвигателя цепи транспортера имеет перегрузочную муфту с выключателем

ПВБ. Срабатывание муфты и, следовательно, *ПВБ* приводит к реверсу транспортера на 50—100 мм (0,5—1 с) и повторному включению вперед, что позволяет упростить механизмы приема и выдачи деталей, так как возможное заклинивание деталей устраняется при реверсе транспортера без вмешательства наладчика (автоматическое устранение отказа). Переполнение транспортера контролируется фотодатчиком *2ФРП* подъемника. Контакты *1РП* (при затенении фотодатчика *2ФР*), что останавливает работу транспортера на 1 мин. После выдержки времени контакты *2РВ* снова включают транспортер вперед. Автоматическая работа транспортера сигнализируется светофором. На время реверса сигнальная лампочка *ЛС* загорается ярко, привлекая внимание наладчика. Электроаппаратура и кнопки управления располагаются в отдельном шкафу. Аналогичным образом построена и система управления и блокировки отводящего транспортера (см. рис. V-17). В его электроприводе также предусмотрена перегрузочная муфта с контактами *ВП*, срабатывание которой приводит к отключению электродвигателя. Для контроля правильной выгрузки деталей установлена отжимная планка, связанная с путевым выключателем *2ПВ*. При задержке деталей на выходе из транспортера выключатель *2ПВ* отжимается, и также отключает электродвигатель. Отводящий транспортер работает следующим образом. Во время работы станков ручные отсекатели *А* не пропускают обработанные детали в отводящий транспортер. После замера и определения годности последней обра-

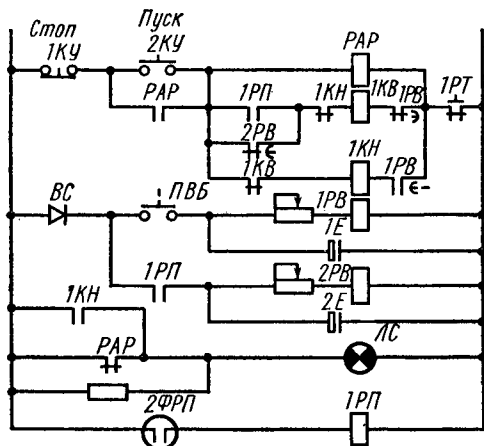


Рис. V-19. Схема управления транспортером-распределителем:

1КУ, 2КУ — кнопки управления; *РАР, 1РП* — промежуточное реле; *1КВ, 1КН* — магнитные пускатели; *1РТ* — тепловое реле; *1РВ, 2РВ* — реле времени; *2ФРП* — контакты фотодатчика; *2ФРП* — подъемника; *1Е, 2Е* — конденсаторы к *1РВ* и *2РВ*; *ВС* — селеновый выпрямитель; *ПВБ* — выключатель перегрузочной муфты; *ЛС* — лампа-светофор

ботанной детали отсекается *А* освобождает их. Столб деталей проходит по лотку ниже и задерживается отсекателем *2Э*.

Установленный на транспортной ленте кулачок, кратковременно действуя на выключатель *1ПВ*, отключает отсекатель *3Э* (задерживая детали) и выключает отсекатель *2Э*, который выпускает детали, находящиеся между отсекателями *1Э* и *2Э*, в отводящий транспортер.

Подобная порционная выдача деталей на отводящий транспортер необходима, чтобы избежать скопления деталей в стыках лотков и транспортера. Упор, действующий на выключатель *1ПВ*, удаляет отставание детали с верхней ветви транспортера.

Рассмотренные принципы построения систем управления и блокировки независимо работающих агрегатов в линиях с гибкой связью реализованы в комплексных автоматических линиях автоматических цехов по производству подшипников конструкции МСКБ АЛ и СС, в том числе в цехе массовых подшипников на заводе ГПЗ.

Структурная схема одной из таких линий цеха (по технологическим участкам) приведена на рис. V-20. Каждый участок линии имеет комплексную систему управления и блокировки, аналогичную рассмотренной выше схеме (см. рис. V-17, V-18, V-19). Как правило, участок составляет группа станков, выполняющих однородные последовательные операции или одну операцию группой параллельно работающих станков, конструктивным признаком участка является наличие транспортера-распределителя. Иногда участок определяется количеством оборудования, заключенным между двумя автоматическими магазинами-накопителями. Каждый участок имеет пульт управления.

Токарный участок (рис. V-20, а) наиболее сложен и состоит из двух групп параллельно работающих станков черновой и чистовой обработок, а также пресса клеймения, объединенных распределителями и отводными транспортерами.

Термический участок (рис. V-20, б) характерен последовательным размещением оборудования с непрерывной работой транспортеров ленточного типа. В термические участки цеха входит около 40 единиц оборудования, которое обслуживает один человек. Поэтому электрооборудованием участка предусмотрена звуковая сигнализация, действующая при останове одного агрегата из общей автоматической работы. Все внутренние блокировки неисправностей в отдельных агрегатах и печах, без которых невозможна их дальнейшая работа, приводят к отключению собственного транспортера, который включает общий звонок в свою сигнальную лампочку.

Участок плоского шлифования (рис. V-20, в) состоит из двух станков, двух подъемников, двух магазинов и демагнитизатора. Все оборудование работает последовательно. Блокировочная связь между станками осуществляется датчиками, которые контролируют наличие деталей в лотках, отходящих от подъемников. Производительность второго станка устанавливается несколько выше, чем первого, поэтому первый станок отключается только при выключении автоматической работы второго станка. На данном участке подводящие лотки

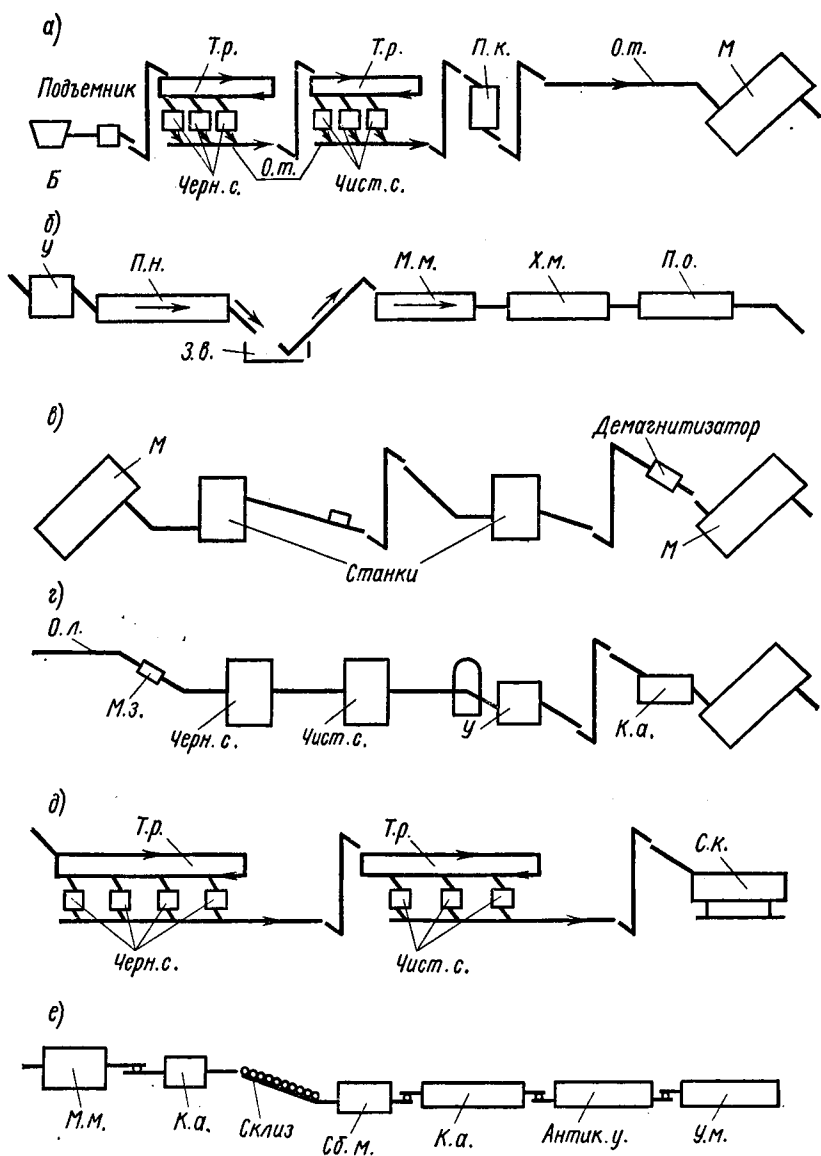


Рис. V-20. Структурная схема одной из линий автоматического цеха массовых подшипников:

Б — бункер; **черн. с.** — черновые станки; **Т. р.** — транспортеры-распределители; **О. т.** — отводящие транспортеры; **Чист. с.** — чистовые станки; **П. к.** — пресс клей-
 мения, **М** — магазины; **У** — укладчики; **П. н.** — печи нагрева под закалку; **З. в.** —
 закалочные ванны; **М. м.** — моечные машины; **Х. м.** — холодные машины; **П. о.** —
 печи отпуска; **М. з.** — механизмы загрузки; **К. а.** — контрольные автоматы; **С. к.** —
 столы контролера; **Сб. м.** — сборочная машина; **Антик. у.** — антикоррозийное
 устройство; **У. м.** — упаковочная машина

также используются как накопители, действующие при кратковременных задержках работы станков или магазинов.

На участке бесцентрового наружного шлифования (рис. V-20, *г*) имеется два вида связи: связь по контролю деталей в лотках и связь транспортных средств обоих станков. Связь транспортеров сводится к возможности только совместной их работы. Выключение одного транспортера немедленно приводит к выключению автоматической работы обоих станков. Это объясняется тем, что кольца во время обработки проходят через станки непрерывным потоком. Выключение вспомогательных устройств участка, магазина, контрольного автомата, подъемника, и укладчика не вызывает выключения автоматической работы станков. Детали при задержке в последующей части участка автоматически отводятся из потока в сторону (сбрасываются в ящик).

Связь и управление на участке внутреннего шлифования (рис. V-20, *д*) аналогичны связи и управлению на токарных участках.

Участок завершающих операций (рис. V-20, *е*), где установлены моечные машины, контрольные автоматы, сборочная, антикоррозийная и упаковочная машина, характеризуется последовательной компоновкой машин. Оборудование завершающего участка комплектуется из машин циклического действия, цикл которых состоит из обработки детали и транспортирования ее с позиции на позицию. Связь между станками осуществляется также через обрабатываемые детали в месте стыка двух транспортеров, куда деталь поступает от предыдущей машины и откуда она подается на следующую машину; при этом устанавливается датчик, контролирующий наличие детали на данной позиции. Если к началу нового цикла предыдущей машины деталь с указанной позиции не удалена, то машина ждет ее удаления. Для последующей машины наличие детали служит сигналом к продолжению автоматического цикла. Следовательно, в данном случае конец транспортирования детали предыдущей машины вызывает начало транспортирования детали последующей машиной. Подобная перекладка детали обычно происходит без встречи механизмов транспортера. Однако конструктивно обойтись без встречи транспортных средств иногда невозможно; в этих случаях создаются межстаночные расстояния в виде лотков, склизов и тому подобных устройств со свободным перемещением детали под действием собственного веса. Связанные таким образом станки могут работать независимо друг от друга до момента переполнения лотка или, наоборот, до его полной разгрузки.

Магазины, которые находятся между участками, имеют самостоятельное управление с электроаппаратурой и кнопками, установленными на магазине.

Схемой электрического управления, кроме блокировок внутри магазина, предусмотрены требуемые блокировки и связи с электрооборудованием предыдущего и последующего участков. Эти связи осуществляются через контроль наличия колец в подводящем и отводящем лотках. Например, при наполнении отводящего лотка выдача колец из магазина прекращается.

При срабатывании контроля наполнения подводящего лотка, которое может быть вызвано неисправностью механизма приема в магазин или его остановом, посылается соответствующий сигнал на транспортные средства предыдущего участка.

Рассмотренные выше примеры систем управления автоматическими линиями показывают, что электрические схемы представляют собой совокупность большого количества электрических аппаратов и элементов.

Повышение надежности систем электрического управления автоматическими линиями наряду с другими мерами обеспечивается путем включения в систему управления специальных механизмов, обеспечивающих нахождение неисправностей в электрических цепях. В сложных цепях управления в случае возникновения каких-либо неисправностей значительное время приходится тратить не на устранение этих неисправностей, а на их поиск. В большинстве случаев для этих целей используются или сигнальные лампы, или специальные переключатели (искатели повреждений, шаговые искатели и т. п.) устанавливаемые на пультах управления, которые подсоединяются к контролируемым точкам схемы.

Большое распространение во всевозможных электрических схемах получила световая сигнализация. В простейшем случае при необходимости получения сигнала о включении электрических аппаратов их контакты включаются последовательно с сигнальными лампами. Существенный недостаток такой схемы — в случае перегорания лампы; цепь, в которую она включена, не может быть проверена, а следовательно, может быть выдан ложный сигнал. Этот недостаток отсутствует в схеме, где сигнальная лампа включается последовательно с сопротивлением, а контакты аппарата, работа которого проверяется, шунтирует это сопротивление.

На рис. V-21 приведены распространенные схемы сигнализации задержек. По варианту, представленному на рис. V-21, а, контакты всех аппаратов, включенных в контролируемую цепь, имеют контакты и в цепях сигнальных ламп (1Л—6Л). Все лампы, горящие в полный накал, указывают на причины задержки включения автоматической работы. Если лампы горят в полнакала, то, следовательно, все условия, контролируемые контактами 1ПВ, 2ПВ, 1РП, 2РП, 3РП, для включения реле автоматической работы РАР выполнены. Эта схема, отличающаяся простотой, имеет и существенные недостатки: требуются дополнительные контакты для цепей сигнальных ламп, увеличивается число промежуточных реле и др.

В схеме (рис. V-21, б) сигнальными лампами 1Л—5Л проверяются непосредственно контакты, включенные в цепь реле автоматической работы РАР. Сигнализация включается только после отключения автоматической работы, т. е. когда требуется поиск причины задержки автоматической работы. Лампы включаются промежуточным реле РС от нормально замкнутых контактов реле РАР. Недостатком этой схемы является то, что она не выявляет одновременно несколько причин неисправностей, так как причину может указать лишь первая

лампа из числа негорящих. Только после устранения одной неисправности можно определить следующую и т. д.

Из схем автоматического управления нетрудно установить, что для подачи команды на выполнение очередного элемента цикла работы линии необходимо выполнить много условий, выраженных в виде замкнутых контактов электроаппаратов. Например, для включения транспортера секции автоматической линии 1Л85, имеющей пять позиций и девять силовых головок, требуется контроль исходных положений девяти головок, пяти механизмов фиксации и зажима, что в общей сложности составит более 40 контактов в цепи включения хода

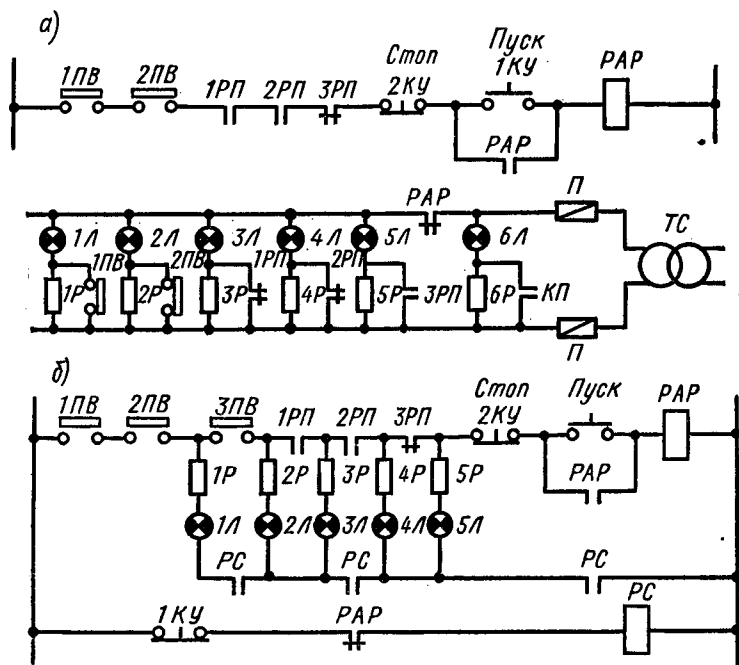


Рис. V-21. Схема сигнализации задержек

транспортера вперед. Если контроль элементов выполнить в сигнальных лампочках, то их количество будет весьма значительным, особенно для линий с большим числом позиций. Кроме того, при наличии многочисленных сигнальных ламп на пульте управления создается неприятное мигание во время работы линии. В этих случаях применяют специальные искатели повреждения в электрических цепях управления.

На рис. V-22, а приведена схема поиска неисправностей с одной сигнальной лампой ЛС и искателями повреждений ИП. Пусть при нормальной работе контролируемого участка схемы контакты всех реле 1РП—3РП разомкнуты, поэтому лампа ЛС включена последовательно с сопротивлением С и горит в полнакала. При наличии неисправности (контакты одного из реле РП замкнуты) сопротивление С зашунтировано цепью ИП — неисправное РП, лампа ЛС включена

на полное напряжение, что и дает возможность определить неисправное РП.

В схеме (рис. V-22, б) от всех точек последовательной цепочки электрических аппаратов сделаны выводы на соответствующие контакты искателя повреждений ИП, к общей точке которого присоединена сигнальная лампа ЛС. Таким образом, если промежуточное реле РП не включается соединением общего подвижного контакта ИП с его контактами, связанными с контролируемой цепью, можно определить место разрыва электрической цепи и поврежденный аппарат. При поиске неисправностей в сложных электрических цепях, скомпонованных из большого количества аппаратов, используют схемы с шаговыми искателями. Функция шагового искателя в цепях контроля заключается в том, что при вращении ротора с ползунками по контактному полю после каждого последовательного включения катушки электромагнитного привода с его ИП контактом образуются новые цепи для самопитания.

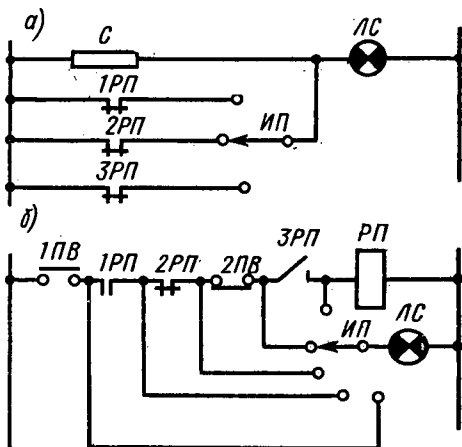


Рис. V-22. Схемы устройств для поиска неисправностей в цепях управления:

а — с искателем повреждений в виде переключателя; б — с включением искателя повреждений в цепь исполнительного реле

Проверяемая цепь реле РП (рис. V-23) состоит из контактов 1КВ, 2КВ, 1РП, 2РП.

После проверки каждого контакта через отводы 1ШИ—4ШИ, являющиеся контактами шагового искателя ШИ, подается команда на контактные щетки. Нажатием кнопки П шаговый искатель ШИ включается и после первого же срабатывания переключается через контактную щетку с контактного поля 0ШИ на 1ШИ и т. д., пока контактная щетка не встанет на нарушенный или незамкнутый контакт, одновременно другая контактная щетка вращающегося ротора ШИ также останавливается на одном из контактов контактного поля и включает соответствующую сигнальную лампу 1Л—4Л.

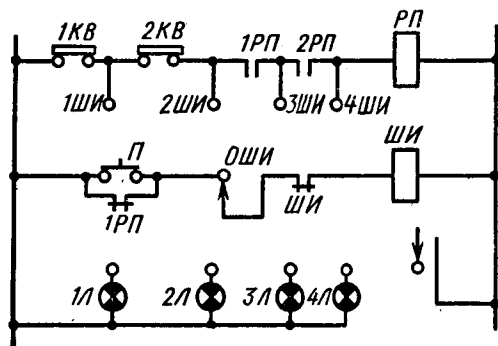


Рис. V-23. Схема поиска неисправностей с использованием шагового искателя

срабатывания переключается через контактную щетку с контактного поля 0ШИ на 1ШИ и т. д., пока контактная щетка не встанет на нарушенный или незамкнутый контакт, одновременно другая контактная щетка вращающегося ротора ШИ также останавливается на одном из контактов контактного поля и включает соответствующую сигнальную лампу 1Л—4Л.

Сигнальные лампы размещаются на специальной панели, на которой нанесен контур автоматической линии. Это дает возможность найти место расположения неисправного аппарата на линии.

В автоматических линиях, где количество проверяемых контактов не превышает 50, целесообразно схему сигнализации размещать на самом шаговом искателе, как это показано на рис. V-24. Диск 4 с вы-

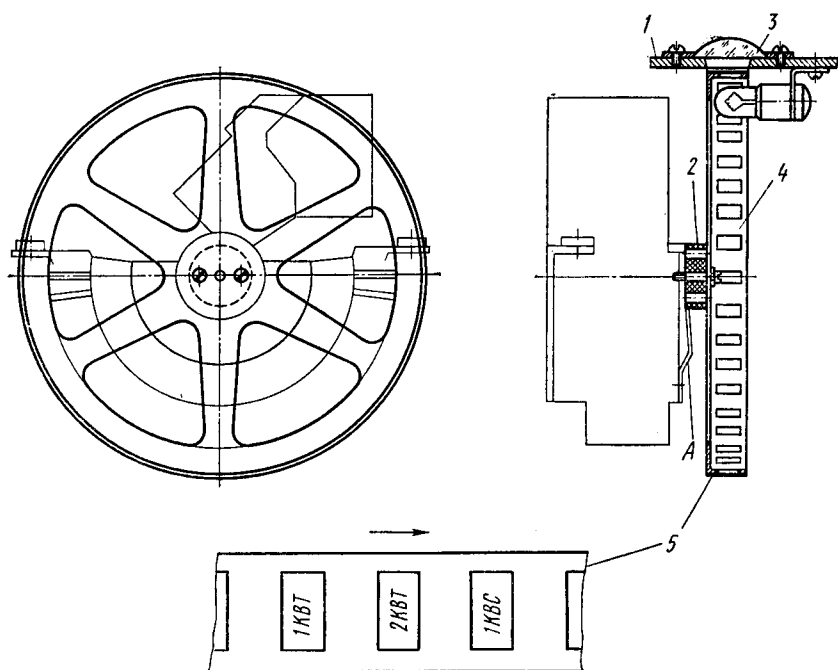


Рис. V-24. Сигнальный диск на шаговом искателе для контроля контактов в автоматических линиях:

1 — панель главного пульта управления; 2 — переходная втулка; 3 — глазок; 4 — диск; 5 — наклеиваемая лента с указанием контактов, подлежащих контролю

резанными на отбортованной поверхности прямоугольными отверстиями жестко крепится к ротору шагового искателя. На эти отверстия наклеивается прозрачная лента, на которую нанесены номера проверяемых контактов. Помещенная внутри лампа загорается одновременно с вращением сигнального диска. В глазок 3 на панели управления виден тот номер контакта, на котором останавливается шаговый искатель.

В некоторых автоматических линиях предусматриваются панели поиска неисправностей, которые устанавливаются на дверцах шкафов управления. На панели из изоляционного материала наносится реальная схема управления линией. Все точки соединений контактов снабжаются на панели специальными контактными пистонами, которые соединяются с соответствующими точками реальной монтаж-

ной схемы. Схему контролируют, поочередно прикасаясь к контрольным контактам специальным щупом, соединенным через контрольную лампу с одной из основных линий питания цепи управления.

§ 4. ПРОГРАММИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Процесс составления программы работы автоматической линии называется программированием. Программирование автоматической линии, как правило, производят в процессе проектирования линии, после чего автоматическая линия не может быть переналажена на другой рабочий цикл. Однако автоматизированные участки из станков с программным управлением от ЭВМ дают возможность производить программирование в процессе эксплуатации линии. В этом случае вся необходимая технологическая информация выдается на ЭВМ типа «Минск-32». Специализированная система подготовки управляющих программ содержит 4000—10 000 команд, что обеспечивает управление станками.

Первостепенное значение имеет минимизация трудовых затрат на подготовку управляющих программ. Этому в большой степени способствует использование автоматизированных систем подготовки программ на ЭВМ, которой в возможно большем объеме передаются функции выбора геометрических и технологических решений; в идеальном случае в ЭВМ вводятся только данные чертежа обрабатываемой детали.

Программирование охватывает все виды оборудования, как универсальные, так и специальные автоматы, встроенные в автоматическую линию. Для программирования необходим чертеж обрабатываемой детали и технические данные автоматических машин, на основе которых разрабатывается технологический процесс обработки, рассчитываются и изготавливаются программноносители. В качестве программноносителей на автоматических линиях применяются упоры, копиры, кулачки, перфоленты и магнитные ленты и их разнообразные комбинации (рис. V-25).

Процесс программирования включает три этапа:

1. Разработка технологического процесса на обрабатываемую деталь, составление схемы перемещений рабочих агрегатов для обеспечения процесса обработки, выбор режимов, режущего инструмента и приспособлений, заполнение технологических карт; определение производительности.

2. Математическое описание процесса. Определение координат, величин перемещений с учетом автоматического управления всех агрегатов.

3. Построение циклограммы и проектирование программноносителей, изготовление и контроль программноносителей.

Методика программирования остается единой для всех станков автоматов и автоматических линий, однако объем перерабатываемой информации и трудоемкость изготовления программноносителей получаются различными.

В процессе программирования необходимо соблюдать следующие правила:

1) максимально использовать принцип возможных совмещений операций путем совмещения работы отдельных рабочих органов (суппортов, агрегатных головок, силовых столов и т. д.);

2) в первую очередь производить наиболее тяжелые обдирочные операции. Чистовую обработку поверхностей, к которым предъявляются

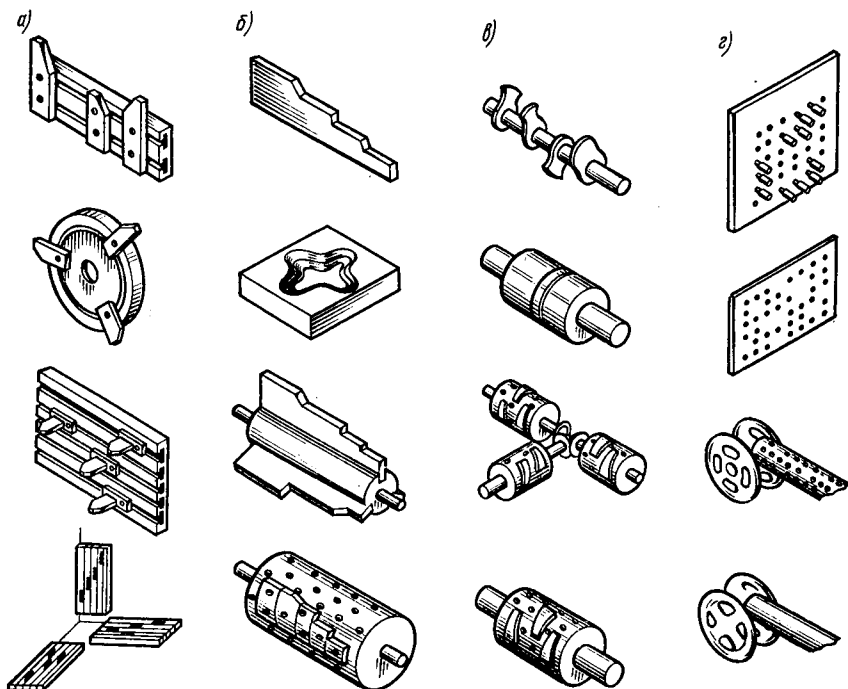


Рис. V-25. Программноносители, применяемые при программировании на автоматических линиях:

а — упоры; б — копии; в — распределительные валы с кулачками; г — перфокарты, перфоленты, магнитные ленты

повышенные требования в отношении точности, выполнять возможно ближе к концу автоматической линии, что обеспечивает охлаждение детали после черновых переходов, предотвращает возможную деформацию точной поверхности и позволяет устранять следы механических повреждений на плоскостях, по которым деталь перемещается в процессе транспортирования;

3) по схеме технологического процесса обработки следует проверить перемещение рабочих агрегатов линии, чтобы они не мешали взаимному движению в процессе обработки.

Имея схему обработки и рабочий чертеж детали, можно перейти к определению продолжительности как рабочих, так и холостых хо-

Рассмотрим некоторые особенности технологии обработки деталей

портирования нельзя допускать
х размеров заготовок, так как
екашиваться на транспорте.
к, подлежащих обработке, мест-
и т. д. может привести к полом-

е й. Детали на линии могут
или с использованием приспособ-
нспортирования зависит от фор-
поверхностей заготовки.

ание возможно при наличии у
их ее устойчивое положение при
бходимо чтобы погрешность ба-
я не выходила за пределы, обес-

При транспортировании с помощью шаговых транспортеров необходимо наличие опорной поверхности, боковых плоскостей и поверхностей, в которые должны упираться собачки. Все эти поверхности необходимо точно связывать с базовыми поверхностями. Иногда для обеспечения возможного непосредственного транспортирования на заготовках создают вспомогательные базы.

В качестве баз в корпусных деталях удобно использовать плоскость и два отверстия в ней. Часто используется базирование по двум взаимно перпендикулярным плоскостям и одному отверстию.

189

Следует иметь в виду, что в ряде случаев нельзя обрабатывать детали на всех станках автоматической линии, используя одни и те же базы. В этом случае необходима смена баз, которая необходима вследствие невозможности или неудобства обработки каких-либо поверхностей на первоначальных базах, из-за интенсивного износа в результате многократного использования. Выбор того или иного приема смены баз определяется исходя из конкретных условий и требуемой точности обработки.

Приспособления-спутники используются в тех случаях, когда детали не имеют поверхностей, которые могли бы обеспечить устойчивое положение детали при транспортировании. Использование приспособлений-спутников способствует уменьшению погрешности базирования и износа благодаря применению базовых планок и втулок из закаленной легированной стали.

Иногда встречаются детали, имеющие недостаточную жесткость. Обработка таких деталей не может идти без подводимых опор. В этом случае также используются приспособления-спутники.

Существует несколько способов базирования деталей в приспособлениях-спутниках: 1) по плоскости и двум отверстиям; 2) по плоскости, центральному отверстию или цилиндрической наружной поверхности и выступу, отверстию или выемке для ориентации в угловом положении с использованием самоцентрирующих механизмов или без них; 3) по плоскости и контуру бобышек также с использованием самоцентрирующих механизмов или без них.

3. Выбор методов обработки. При составлении технологического процесса для обеспечения требуемой точности и шероховатости поверхностей необходимо знать технологические возможности используемых методов обработки. Например, точность, получаемая при обработке поверхностей на автоматических линиях, в значительной степени зависит от компоновки фрезерных станков. Точность расположения координат отверстий при сверлении, зенкерования и развертывании в значительной степени зависит от диаметра обрабатываемого отверстия.

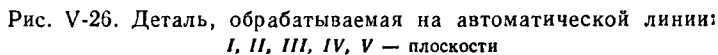
4. Составление маршрутной технологии. Составление маршрутной технологии ведется последовательно в три этапа:

1) для каждой поверхности выбираются методы обработки и в зависимости от требуемых точности и шероховатости поверхности определяется нужное количество переходов. Кроме того, для обработки каждой поверхности назначаются базовые поверхности. На этом же этапе предварительно назначаются максимально допустимые режимы резания (подача и скорость резания), определяется основное технологическое время и намечаются контрольные операции, подлежащие включению в линию;

2) определяется последовательность выполнения всех переходов. При составлении этой последовательности необходимо стремиться черновую обработку плоскостей и крупных отверстий располагать в начале автоматической линии, а чистовую обработку по возможности выполнять в конце линии. Иногда даже целесообразно выносить от-

Между черновой и чистовой обработками наиболее точных поверхностей нужно выполнять обработку поверхностей, к которым не предъявляются повышенные требования в отношении точности.

Нарезание резьбы по возможности следует выносить на отдельный участок. Это объясняется применением специфических смазочно-охлаждающих жидкостей, загрязняющих деталь.



Кроме основных технологических переходов необходимо предусматривать вспомогательные переходы для очистки деталей от стружки и соответствующие контрольные переходы;

3) осуществляется группирование переходов по станкам и шпиндельным коробкам. Кроме этого, уточняются режимы резания. При группировании переходов необходимо стремиться к тому, чтобы количество станков было минимальным. Причем надо учитывать, что совмещать черновую и чистовую операции на одном станке нежелательно.

При уточнении режимов резания следует иметь в виду, что окончательный выбор режимов может быть произведен только после составления циклограммы линии и расчета коэффициента технического использования.

На рис. V-26 показан чертеж детали, которую предстоит обрабатывать на автоматической линии.

№ плоскости	Эскиз (вид на плоскость с номерами отверстий)	Отверстия		Переходы	Диаметр, мм	Допуски на координаты от баз., мм	Расстояния между соседними отверстиями, мм	
		номер	количество				номера отверстий	расстояние
I		101—103	3	Сверление Зенкерование	$12^{+0,1}_{-0,07}$	$\pm 0,15$ $\pm 0,08$	102—105	100
		104—111	8	Сверление Снятие фасок Нарезание резьбы	8,5 10,5 M10 (2-й кл. точности)	$\pm 0,2$		30
II		201—208	2	Сверление Нарезание резьбы	10,5 M12 (3-й кл. точности)	$\pm 0,25$ —		60
		202—207	6	Сверление Снятие фасок Нарезание резьбы	8,5 10,5 M10 (2-й кл. точности)	$\pm 0,2$ —		
III		301, 302, 304, 306	5	Сверление Снятие фасок Нарезание резьбы	10,5 12,5 M12 (2-й кл. точности)	$\pm 0,2$ —		45
		303, 307	2	Сверление Зенкерование Снятие фасок	$12^{+0,1}_{-0,07}$	$\pm 0,15$ $\pm 0,08$		100
		308	1	Развертывание Растачивание: черновое чистовое	14 $13^{+0,018}_{-0,020}$ 88 $90^{+0,230}_{-0,8}$	— $\pm 0,05$ $\pm 0,15$ $\pm 0,8$		—
IV		401—404	4	Сверление Снятие фасок Нарезание резьбы	8,5 10,5 M10 (2-й кл. точности)	$\pm 0,2$ —		240

Таблица V-1

Количество шпинделей	Особенности обработки	Длина обработки, мм	Величина врезания, мм	Величина выхода, мм	Длина рабочего хода, мм	Максимальные режимы резания				Основное технологическое время, мин
						v , м/мин	f , об/мин	s_0 , мм/об	s_m , мм/мин	
9	—	28	4	—	32	19	505	0,22	111	0,282
		25	4	—	29	25	625	0,46	287	0,101
		22	4	5	31	22	825	0,12	99	0,313
		1	4	—	5	22	665	0,1	66,5	0,075
		22	4	7	$33 \times 2 = 66$	5	160	1,5	240	0,275
4	—	27	4	6	37	21	635	0,15	95	0,39
		27	4	8	$39 \times 2 = 78$	4	105	1,75	184	0,424
		22	4	5	31	22	825	0,12	99	0,313
		1	4	—	5	22	665	0,1	66,5	0,075
		22	4	7	$33 \times 2 = 66$	5	160	1,5	240	0,275
15	—	27	4	6	37	21	635	0,15	95	0,39
		1	4	—	5	21	535	0,1	53,5	0,093
		27	4	8	$39 \times 2 = 78$	4	105	1,75	184	0,424
		28	4	—	32	19	505	0,22	111	0,288
		25	4	—	29	25	625	0,46	287	0,101
		1,5	4	—	5,5	20	455	0,1	45,5	0,121
		25	4	—	29	8	195	0,9	175	0,166
		30	5	5	40	50	180	0,5	90	0,445
		30	5	5	40	90	320	0,15	48	0,835
		30	5	5	40	90	320	0,15	48	0,835
8	Чистовая обработка	28	4	—	32	19	505	0,22	111	0,288
		25	4	—	29	25	625	0,46	287	0,101
		1,5	4	—	5,5	20	455	0,1	45,5	0,121
		25	4	—	29	8	195	0,9	175	0,166
		30	5	5	40	50	180	0,5	90	0,445
2	То же	30	5	5	40	90	320	0,15	48	0,835
		30	5	5	40	90	320	0,15	48	0,835
		30	5	5	40	90	320	0,15	48	0,835
		30	5	5	40	90	320	0,15	48	0,835
		30	5	5	40	90	320	0,15	48	0,835
12	—	22	4	5	31	22	825	0,12	99	0,313
		1	4	—	5	22	665	0,1	66,5	0,075
		22	4	7	$33 \times 2 = 66$	5	160	1,5	240	0,275
		22	4	7	$33 \times 2 = 66$	5	160	1,5	240	0,275
		22	4	7	$33 \times 2 = 66$	5	160	1,5	240	0,275

При обработке детали необходимо выполнить следующие переходы: сверление нескольких крепежных отверстий с последующим нарезанием в них резьбы, обработку точных отверстий и растачивание отверстия $\varnothing 90A_4$.

На первом этапе заполняется технологическая карта (табл. V-1). В карту заносятся эскизы обрабатываемых поверхностей детали с обозначением номеров отверстий, которые предстоит обработать. После этого для каждой плоскости в зависимости от требований точности назначаются методы обработки, количество переходов, межоперационные припуски и допуски.

При определении перемещений инструментов необходимо учитывать геометрические данные инструмента, расстояния от плоскостей со стороны входа и выхода инструмента до базы и величину гарантированного зазора, которые влияют на величину врезания и выхода инструмента. Гарантированный зазор для гидравлических силовых головок принимается 2—4 мм, для электромеханических — 3—5 мм.

В карту также заносятся предварительно назначенные максимальные режимы резания — скорость резания, подача и скорость вращения шпинделя — и определяется для каждого перехода основное технологическое время.

После того как технологическая карта полностью заполнена, все переходы необходимо сгруппировать по станкам.

Для обработки детали со стороны плоскости I можно все переходы выполнить на трех рабочих позициях. Но сверление отверстия 107 нельзя выполнить совместно со сверлением отверстий 106 и 111, так как расстояние между ними мало (30 мм).

Окончательно можно остановиться на таком варианте: отверстие 107 обработать в два перехода. Сверление и снятие фаски комбинированным инструментом произвести на второй рабочей позиции, а нарезание резьбы совместно с другими отверстиями — на третьей рабочей позиции.

Обработку детали со стороны плоскости II можно производить по следующему маршруту:

1) сверлить два отверстия 201 и 203 диаметром 10,5 мм, сверлить шесть отверстий 202—207 диаметром 8,5 мм;

2) нарезать резьбу в двух отверстиях 201 и 208 M12, снять фаску в шести отверстиях 202—207 диаметром 10,5 мм;

3) нарезать резьбу M10 в шести отверстиях 202—207.

При составлении маршрутной технологии обработки необходимо по возможности все резьбонарезные операции сосредоточить в одном участке линии на одном станке.

Учитывая анализ переходов, необходимых для обработки отверстий со стороны плоскости III, можно составить следующий маршрут:

1) сверлить пять отверстий 301, 302, 304, 305, 306 диаметром 10,5 мм; сверлить два отверстия 303 и 307 диаметром 11 мм; расточить предварительно одно отверстие 308 диаметром 88 мм;

2) снять фаску в пяти отверстиях 301, 302, 304, 305 и 306 диаметром 12,5 мм; зенкеровать два отверстия 303 и 307 диаметром 12,7 мм;

3) нарезать резьбу M12 в пяти отверстиях 301, 302, 304, 305 и 306

и снять фаски в отверстиях 301, 302, 304, 305 и 306, снять фаски в двух отверстиях 303, 307 диаметром 14 мм;

4) развернуть два отверстия 303 и 307 диаметром $13^{+0,018}$; расточить окончательно одно отверстие 308 диаметром $90A_4$.

Обработку детали со стороны плоскости IV можно выполнять по следующему маршруту:

1) сверлить четыре отверстия 401—404 диаметром 8,5 мм;

2) снять фаски в четырех отверстиях диаметром 10,5 мм;

3) сделать резьбу M10 в четырех отверстиях.

Перед составлением технологической схемы автоматической линии необходимо откорректировать режимы резания в соответствии с заданной производительностью и с группированием по шпиндельным коробкам.

Располагаемое рабочее время для обработки одной детали можно определить по формуле

$$t_p = (\Phi/N) \eta_{ис} - t_x = (3950 \times \times 60)/(150\,000) 0,8 - 0,25 = 1 \text{ мин},$$

где Φ — годовой фонд времени работы автоматической линии при двухсменной работе ($\Phi = 3950$ ч); N — годовая программа; $\eta_{ис}$ — коэффициент использования; t_x — время холостых ходов.

При сравнении располагаемого рабочего времени с рабочим временем наиболее продолжительного перехода (см. табл. V-1) можно сделать вывод, что предварительно выбранные режимы обработки могут быть снижены, а обработка деталей может вестись в один поток.

Скорректированные режимы резания приведены в табл. V-2.

На рис. V-27 представлена планировка проектируемой автоматической линии из агрегатных станков. Автоматическая линия скопмнована следующим образом. Деталь 12 шаговым транспортером 13 перемещается по мере обработки через рабочие позиции. В обработке участвуют следующие станки: двусторонний горизонтальный восемнадцатшпиндельный сверлильный станок с силовыми головками 1 и 11, двусторонний горизонтальный семнадцатшпиндельный сверлильный станок с головками 2 и 10, двусторонний двухпозиционный горизонтальный двадцатитрехшпиндельный сверлильно-рас-

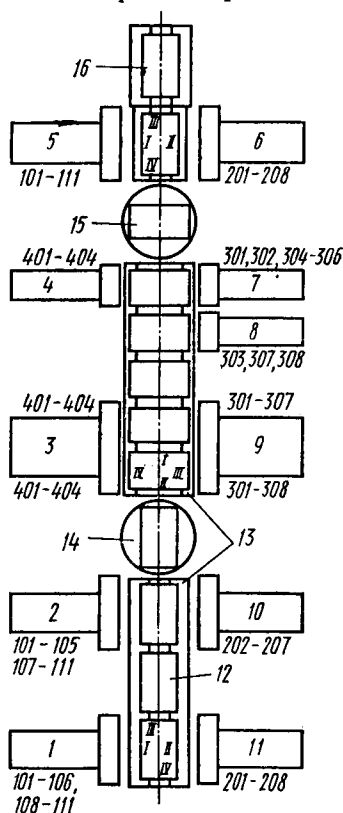


Рис. V-27. Планировка проектируемой автоматической линии из агрегатных станков:

1, 11, III, IV — номера обрабатываемых поверхностей, 101—208 — номера отверстий

Таблица V-2

Станок	1		2		3		4		5		6	
	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая		
Головка	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Правая	
Позиция	—		—		—		—		—		—	
Переходы	Сверление		Сверление		Сверление		Сверление		Сверление		Сверление	
	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Номера отверстий	12	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
	16	13,6	13,6	16,8	11,5	14,2	11,5	14,2	11,5	14,2	11,5	14,2
Диаметр обработки, мм	425	510	510	510	430	430	430	430	430	430	430	430
v, м/мин	0,12	0,1	0,1	0,1	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137
s _н , мм/мин	51	51	51	51	69	69	69	69	69	69	69	69
Длина обработки, мм	28	22	22	27	22,1	1	25	1	22	1	27	28
Длина рабочего хода, мм	32	32	37	37	31	31	31	31	31	31	31	31
Основное технологическое время, мин	0,63	0,63	0,725	0,725	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121—123	124—126	127—129	130—132
Сверление	101—103	104—106, 108—111	107	108—111	109—111	112—114	115—117	118—120	121			

точной станок с головками 3 и 9, односторонний горизонтальный раз-
верточно-расточной станок с силовой головкой 8, двусторонний го-
ризонтальный девятишпиндельный резьбонарезной станок с головка-
ми 4 и 7 и двусторонний горизонтальный шестнадцатишпиндельный
резьбонарезной станок с головками 5 и 6.

Деталь в процессе обработки при прохождении по рабочим по-
зициям линии 13 два раза поворачивается на 180° поворотными сто-
лами 14 и 15 и выдается на позицию 16.

После составления общей планировки автоматической линии необходимо составить на каждый станок линии схе-
му обработки. При составле-
нии этой схемы нужно учи-
тывать особенности составле-
ния технологии обработки и
также руководствоваться тех-
нологической схемой линии.

На рис. V-28 показана
схема обработки детали левой
агрегатной головкой (см. рис.
V-27) двустороннего горизон-
тального восемнадцатишпин-
дельного сверлильного стан-
ка. На схеме показаны все пе-
реходы, которые выполняются
на станке. Инструменты даны
в масштабе с указанием раз-
меров и конечного положен-
ния.

Для каждой силовой го-
ловки показан цикл его ра-
боты (быстрый подвод БП,
рабочая подача РП, быстрый
отвод БО) с указанием дли-
ны БП, РП и БО. Указывается также длина дополнительного отвода
ДО, необходимого для смены инструмента.

При БО необходимо учитывать возможность наличия рисок на
обработанной детали, остающихся при БО инструментов. Если они
недопустимы, то перед отводом инструмента следует отводить его в
поперечном направлении.

Кроме того, для каждого конкретного станка анализируют усло-
вия обработки и решают, что нужно дополнительно показать на
схеме.

Циклограмма работы автоматической линии дает графическое изо-
бражение рабочего цикла времени. При составлении циклограммы не-
обходимо тщательно проанализировать работу всех механизмов линии
для того, чтобы более правильно выбрать последовательность движе-
ний механизмов. От этого зависит производительность линии. В цикло-

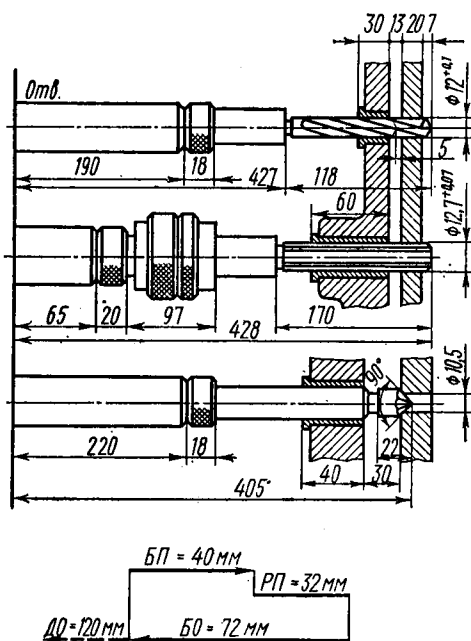


Рис. V-28. Схема обработки детали левой агрегатной головкой

грамме отражают перемещения всех механизмов, причем эти перемещения показывают в масштабе времени.

Все движения механизмов можно разделить на совмещенные и несовмещенные. Сумма несовмещенных движений составляет один цикл работы линии.

При составлении циклограммы необходимо стремиться уменьшить время и количество несовмещенных движений. Уменьшить время цикла можно путем частичного совмещения несовмещенных движений, а также путем сокращения длины хода и увеличения скорости перемещения механизмов.

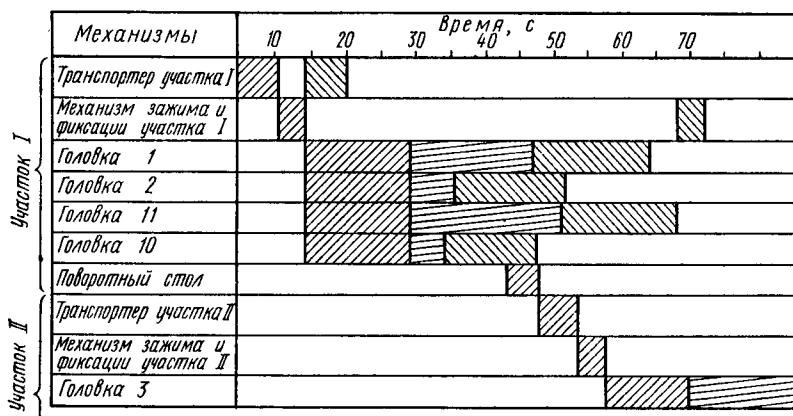


Рис. V-29. Циклограмма обработки детали на линии

На рис. V-29 показан пример составления циклограммы автоматической линии для обработки вышеуказанной детали.

Расчет данных для составления расчетного листа настройки автоматической линии при обработке изделия.

1. Транспортирование изделия транспортером участка I.

$l_1 = 800$ мм — шаг транспортера; $s_1 = 8$ м/мин — скорость транспортирования изделия.

Время транспортирования изделия

$$t_{x1} = l_1/s_1 = (800 \cdot 60)/8000 = 6,0 \text{ с.}$$

2. Зажим и фиксация. На зажим и фиксацию по паспорту автоматической линии уходит 3 с, т. е. $t_{x2} = 3$ с.

3. Отвод транспортера в исходное положение $t_{x3} = 6,0$ с — по аналогии с первой операцией.

4. Быстрый подвод головки I к изделию.

$l_4 = 250$ мм — длина быстрого подвода; $s_4 = 10,0$ м/мин — скорость быстрого подвода.

Время быстрого подвода головки

$$t_{x4} = l_4/s_4 = (250 \cdot 60)/1000 = 15 \text{ с.}$$

5. Обработка головкой I.

$l_5 = 31$ мм — длина рабочего хода; $s_{05} = 0,12$ мм/об;

$s_{м5} = 99$ мм/мин; $n_p = l_5/s_{м5} = 31/0,12 = 258$ об, где n — число оборотов шпинделя для выполнения данного перехода.

$$t_{p5} = l_5/s_{м5} = (31 \cdot 60)/99 = 18,7 \text{ с.}$$

6. Быстрый отвод головки 1.

$l_6 = 281$ мм — длина отвода; $s_6 = 10$ м/мин — скорость отвода; $t_{x6} = l_6/s_6 = (281 \cdot 60)/1000 = 16,8$ с — время отвода.

7. Быстрый подвод головки 2 к изделию.

$t_{x7} = 15$ с — время быстрого подвода (так же, как у головки 1).

8. Обработка головкой 2.

$l_8 = 29$ см — длина рабочего хода; $s_{08} = 0,46$ мм/об; $s_{08} = 287$ мм/мин;

$$n_p = l_8/s_{08} = 29/0,46 = 630 \text{ оборотов;}$$

$$t_{p8} = l_8/s_{м8} = (29 \cdot 60)/287 = 6,1 \text{ с.}$$

9. Быстрый отвод головки 2 от изделия.

$l_9 = 279$ мм — длина отвода; $t_{x9} = l_9/s_9 = (279 \cdot 60)/1000 = 16,7$ с.

10. Быстрый подвод головки 11 к изделию.

$t_{x10} = 15$ с (см. поз. 4).

11. Обработка головкой 11 изделия.

$l_{11} = 37$ мм; $S_{011} = 0,12$ мм/об; $s_{м11} = 99$ мм/мин; $n_p = l_{11}/s_{011} = 37/0,12 = 308$ оборотов; $t_{p11} = l_{11}/s_{м11} = (37 \cdot 60)/99 = 22,4$ с.

12. Быстрый отвод головки 11 от изделия.

$l_{12} = 287$ мм; $t_{x12} = l_{12}/s_{12} = (287 \cdot 60)/1000 = 17,2$ с.

13. Быстрый отвод головки 10 от изделия.

$t_{x13} = 15$ с (см. поз. 4).

14. Обработка головкой 10.

$l_{14} = 5$ мм; $S_{014} = 0,1$ мм/об; $s_{м14} = 66,5$ мм/мин.

$n_p = l_{14}/s_{014} = 5/0,1 = 50$ оборотов;

$t_{p14} = l_{14}/s_{м14} = (5 \cdot 60)/66,5 = 4,5$ с.

15. Быстрый отвод головки 10.

$l_{15} = 255$ мм;

$$t_{x15} = l_{15}/s_{15} = (255 \cdot 60)/1000 = 15,3 \text{ с.}$$

16. Поворот стола. На поворот стола по паспорту отводится 4 с. Из анализа времени работы головок видно, что наибольшее время обработки у головки 11. Так как все головки начинают работу одновременно, то время работы остальных головок полностью совмещается с временем работы головки 11 (см. циклограмму на рис. V-29).

Все эти данные заносятся в расчетный лист настройки (табл. V-3).

Расчет для других участков автоматической линии проводится аналогично.

§ 5. СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Система управления качеством продукции включает комплекс мероприятий, систематически осуществляемых на предприятиях, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях, в министерствах, ведомствах, в планирующих органах управления народным хозяйством, направленных на достижение оптимального качества продукции на всех стадиях создания и потребления.

Государственная аттестация, введенная в СССР с 1967 г., — одна из форм государственного управления качеством продукции. Опыт ее проведения показывает, что имеются реальные возможности для выпуска продукции высшего качества, полностью соответствующей

Таблица V-3

Операция	l, мм	S, м/мин	n _p	n _м	t _{рi} , с	t _{рi'} , с	t _{xi} , с	t _{xi'} , с	Время, с	
									от	до
Транспортирование изделия	800	8,0	—	—	—	—	6,0	—	0	6
Зажим и фиксация	—	—	—	—	—	—	3,0	—	6	9
Отвод транспорта- ра назад	800	8,0	—	—	—	—	—	6,0	9	15
Быстрый подвод го- ловки I	250	10,0	—	—	—	—	—	15	9	24
Обработка голов- ки I	31	0,099	258	825	—	18,7	—	—	24	42,7
Быстрый отвод го- ловки I	281	10,0	—	—	—	—	—	16,8	42,7	59,5
Быстрый подвод головки 2	250	10,0	—	—	—	—	—	15	9	24
Обработка голов- ки 2	29	0,287	630	625	—	6,1	—	—	24	30,1
Быстрый отвод го- ловки 2	279	10,0	—	—	—	—	—	16,7	30,1	46,8
Быстрый подвод го- ловки II	250	10,0	—	—	—	—	15	—	9	24
Обработка голов- ки II	37	0,099	308	825	22,4	—	—	—	24	46,4
Быстрый отвод го- ловки II	287	10,0	—	—	—	—	17,2	—	46,4	63,6
Быстрый подвод го- ловки IO	250	10,0	—	—	—	—	—	15	9	24
Обработка голов- ки IO	5	0,665	50	665	—	4,5	—	—	24	28,5
Быстрый отвод го- ловки IO	255	10,0	—	—	—	—	—	15,3	28,5	43,8
Поворот стола	—	—	—	—	—	—	—	—	40,6	44,6
Обратный поворот стола	—	—	—	—	—	—	—	—	59,6	63,6

потребности народного хозяйства и мирового рынка. Чтобы реализовать эти возможности, нужна сложная работа, стройная система мероприятий, регулярно проводимых на производстве.

Программу постоянно действующих мер по обеспечению высокого качества называют *системой управления качеством продукции*. Эта система получила развитие на передовых предприятиях нашей страны, которые накопили большой и ценный опыт в деле планомерного повышения качества продукции. Умело используя возможности, предоставляемые экономической реформой, применяя новые методы планирования и экономического стимулирования, многие предприя-

тия различных отраслей промышленности добились повышения качества выпускаемой продукции до уровня, полностью отвечающего потребностям народного хозяйства и населения и обеспечивающего конкурентоспособность на мировом рынке.

На отдельных предприятиях сложилась и проверена опытом система управления качеством продукции, охватывающая весь процесс создания и производства изделий — от проектирования до потребления. Она предусматривает: оценку уровня качества продукции и постоянный контроль за ним; планирование и внедрение мероприятий по повышению качества; обеспечение высокого качества изготовления путем совершенствования технологии и соблюдения строгой технологической документации; внедрение системы мероприятий по повышению качества; применение прогрессивных методов контроля и испытаний продукции; применение экономических стимулов для повышения качества продукции; изучение опыта эксплуатации; проведение комплекса воспитательных мер и организация социалистического соревнования.

Главным звеном в системе управления качеством продукции является предприятие. Всю полноту ответственности за технический уровень и качество продукции несут предприятия-изготовители продукции или объединения промышленных предприятий.

Основным критерием управления и показателем качества продукции является безразмерный коэффициент K , выражающий интегральное качество продукции, которое можно представить соотношением:

$$K = C/Z,$$

где C — потребительская стоимость продукции; Z — затраты общества на создание и потребление данной продукции.

Интегральное качество, являясь основным критерием управления в данной системе, обуславливает наличие в ней группы показателей качества продукции для различных уровней управления.

Высокого интегрального качества продукции можно достичь только при выполнении следующих основных условий: правильное и достаточно достоверное прогнозирование потребностей страны в важнейших видах продукции; обеспечение высококачественного проектирования продукции; обеспечение высококачественного изготовления продукции в точном соответствии с заданными техническими и экономическими требованиями, без отступлений и дефектов; своевременная и полная реализация продукции и квалифицированное, технически грамотное потребление продукции в полном соответствии с ее назначением.

В решении проблемы планомерного и организационного управления качеством продукции особая роль принадлежит стандартизации. Стандартизация позволяет, с одной стороны, значительно ускорить развитие новой техники и обеспечить оптимальное качество продукции, а с другой — создает условия для массового высокоэффективного производства, обеспечивая рост производительности общественного труда и специализации производства. Стандартизация является мощным средством ускорения технического прогресса. В то же время

достижения технического прогресса материализуются прежде всего как высокое качество продукции. В этом положении выражается глубокая диалектическая зависимость между стандартизацией и управлением качеством продукции.

Для оценки качества работы конструктора или рабочего введен количественный показатель качества труда, который создает возможность непрерывно контролировать динамику этого показателя и принимать избирательные оперативные меры при тенденции к ухудшению качества, т. е. осуществлять управление качеством труда. Статистически этот показатель C представляет отношение количества работ n , принятых с первого предъявления, ко всему количеству работ N , предъявленных исполнителем за установленный отрезок времени (смену, неделю, месяц):

$$C = n/N.$$

Используя этот критерий, контрольные органы определяют фактический ход процесса и передают информацию о качестве труда каждого работающего.

Качество продукции формируется на всех стадиях создания продукции: оно задается планом, определяется стандартами, закладывается в процессе научных изысканий, конструкторских и технологических разработок и проектирования, осуществляется в процессе производства, и, наконец, реализуется в процессе эксплуатации.

Качество продукции так же, как ее количество и себестоимость, представляет собой важнейшую категорию техники и экономики, регулируемую государством и его органами управления в соответствии с объективными законами экономического развития.

Для определения качества аттестуемой продукции и сопоставления ее уровня с уровнем качества изделий, выбираемых для сравнения за эталон, контролю подвергаются следующие признаки качества изделий, объединяемых в пять основных групп: технико-эксплуатационные; надежность и долговечность; технологические; эстетические; эргономические; стандартизация и унификация.

В зависимости от вида и назначения продукции по каждой из перечисленных групп устанавливаются конкретные показатели качества. Анализ и сравнительная оценка уровня качества изделий производится дифференцированно по каждому показателю или ряду их в каждой группе. При этом учитывается роль каждого показателя в обеспечении оптимального уровня качества продукции — наиболее высокой технико-экономической эффективности и общественной полезности изделия при наименьших затратах общественно необходимого труда.

Для многих видов продукции производственного назначения наиболее эффективным методом количественной оценки отдельных показателей качества, в том числе и таких, как надежность, являются сравнительные испытания.

Для оценки качества труда каждого работника (токаря, конструктора, контролера и т. д.) введен такой критерий, как процент работ, сданных с первого предъявления по отношению к количеству всех

работ, предъявляемых в течение смены или недели. Допустим конструктор предъявил контролеру за месяц 16 чертежей, четыре из них контролер возвратил ему для исправления, а остальные не имели ни одного дефекта. Следовательно, 75% месячной работы конструктором было выполнено качественно. Теоретически этот показатель можно прогнозировать как вероятность сдачи работы с первого предъявления, или вероятность бездефектного труда (в процентах):

$$y = n/N 100,$$

где n — количество работ, принятых с первого предъявления; N — количество всех выполненных работ.

Величина процента сдачи продукции с первого предъявления каждым исполнителем является случайной величиной, которая может быть описана некоторой функцией распределения.

Если y — процент сдачи продукции с первого предъявления; $\varphi(x)$ — плотность распределения этой случайной величины, то вероятность того, что не менее X процентов продукции будет сдано с первого предъявления, определится из выражения

$$p(y \geq x) = \int_y^{100} \varphi(x) dx = 1 - \int_0^y \varphi(x) dx.$$

Математическое ожидание уровня

$$M(y) = \int_0^{100} X \varphi(x) dx,$$

Если X выразить в частностях, то величина

$$p_0 = \int_0^1 X \varphi(x) dx$$

определяет вероятность бездефектного труда, т. е. вероятность того, что предъявляемая партия будет сдана с первого предъявления.

На величину y влияет большое число факторов (состояние оборудования, качество мерительного инструмента, материалы и т. д.), каждый из которых является случайной величиной, описываемой некоторой функцией распределения.

На рис. V-30 представлена структурная схема системы управления качеством на предприятии. Как показано на схеме, — система управления качеством строится по кибернетической схеме сбора, передачи и переработки информации. Основными звеньями этой системы управления являются: установление программы управления; изменение фактического хода процесса; информация через обратную связь и управляющее воздействие.

Здесь программой являются конкретные технические требования, предъявляемые к работе каждого работающего на предприятии (для конструктора — техническое задание на проектирование, для рабо-

чего — чертежи, технические условия и т. д.). Измерение фактического хода трудового процесса осуществляется по каждому работнику и в обобщенном виде — по участку и цеху при помощи критерия качества — процента сдачи работы с первого предъявления за определенный промежуток времени — смену, неделю, месяц.

Обратной связью здесь является информация, составляемая работниками контроля о проценте сдачи работы с первого предъявления.

Управляющее воздействие осуществляется мастерами, начальниками цехов или отделов, руководством предприятия, научно-ис-

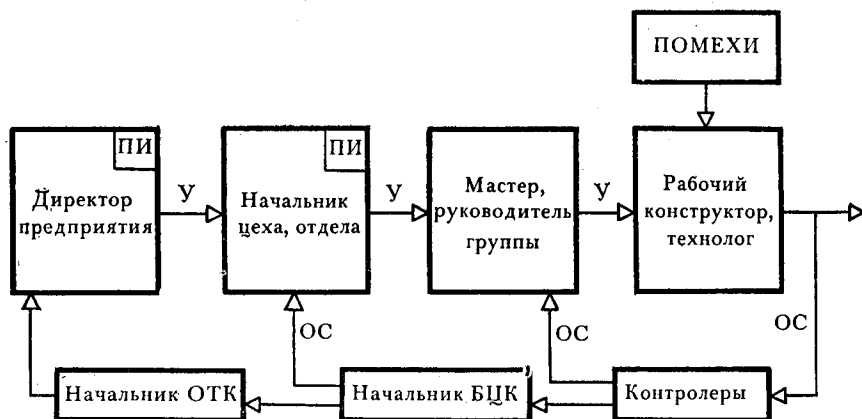


Рис. V-30. Принудительная схема системы управления качеством:

ПИ — переработка информации в управляющее воздействие; У — управляющее воздействие; ОС — обратная связь

следовательского или проектно-конструкторского института. При этом принимаются меры к обучению работников или к созданию им необходимых условий для бездефектного труда.

Система управления качеством труда как отдельных исполнителей, так и подразделений, находящихся в линейной и функциональной зависимостях, строится на многоконтурной основе, вписывающейся в существующие структурные схемы, но с использованием единого критерия управления — процента бездефектного труда, связывающего всех исполнителей и все структурные подразделения.

Контроль качества изделий машиностроения. Система обеспечения качества изделий машиностроения и приборостроения (Окимашприбор) — это комплекс организационно-технических и экономических мероприятий, методов и средств, направленных на достижение оптимального технического уровня изделий, максимальной экономической эффективности от их эксплуатации, потребления или реализации.

Окимашприбор является подсистемой системы управления качеством промышленных предприятий и государственной системы стандартизации. Эта система разрабатывается и внедряется во всех отраслях машиностроительной и приборостроительной промышленности, в проектно-конструкторских организациях, на предприятиях с

различным характером и масштабом производства и различной номенклатурой выпускаемой продукции, а также в организациях и предприятиях, занимающихся эксплуатацией и ремонтом техники.

Система обеспечения качества (СОК) охватывает все стадии общественного процесса производства и потребления изделий, а именно: планирование, исследование и проектирование, производство (изготовление: одиночное, мелкосерийное, среднесерийное, крупносерийное или массовое), погрузку, транспортировку и разгрузку, эксплуатацию (потребление), хранение, консервацию и ремонт.

Окимашприбор призвана обеспечить качество всех элементов общественного процесса производства: труда людей, которые обеспечи-

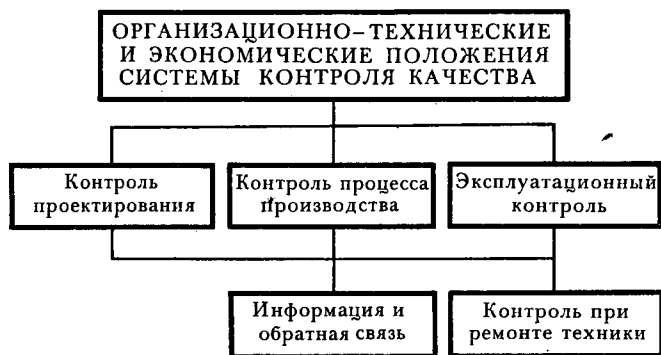


Рис. V-31. Структурная схема контроля качества

вают протекание процесса производства; средств труда, т. е. всей совокупности применяемого оборудования, оснастки, инструмента, производственных помещений и т. д., предметов труда, т. е. всех выпускаемых изделий на различных стадиях их создания.

Система обеспечения качества в процессе производства включает нормативно-технические документы на систему производственного контроля, включающую контроль организационной, конструкторской и технологической подготовки производства. Система контроля и испытаний качества предусматривает разработку нормативно-технических документов, охватывающих этапы проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта (рис. V-31).

Управление качеством на промышленном предприятии. За последние годы в промышленности сделан еще один шаг по пути повышения качества выпускаемой продукции, ее надежности и долговечности.

Система управления качеством продукции на предприятии представляет собой совокупность административных, организационных воспитательных, технических и экономических методов воздействия на всю деятельность предприятия для достижения высокого экономически оптимального уровня качества продукции и экономически целесообразного его роста. При этом материально-технической осно-

вой системы являются конструкторские и технологические методы управления.

Управление качеством на промышленном предприятии есть ключ к решению проблемы качества. Качество и надежность закладываются еще при разработке конструкции изделия и технологии его изготовления, а затем обеспечиваются в процессе производства и поддерживаются в процессе эксплуатации.

Система управления качеством включает в себя планирование конкретных параметров качества и их улучшения; научно обоснованные методы и постоянно действующие мероприятия комплексного обеспечения и систематического улучшения качества на всех этапах создания изделия, начиная с разработки и кончая эксплуатацией, а также

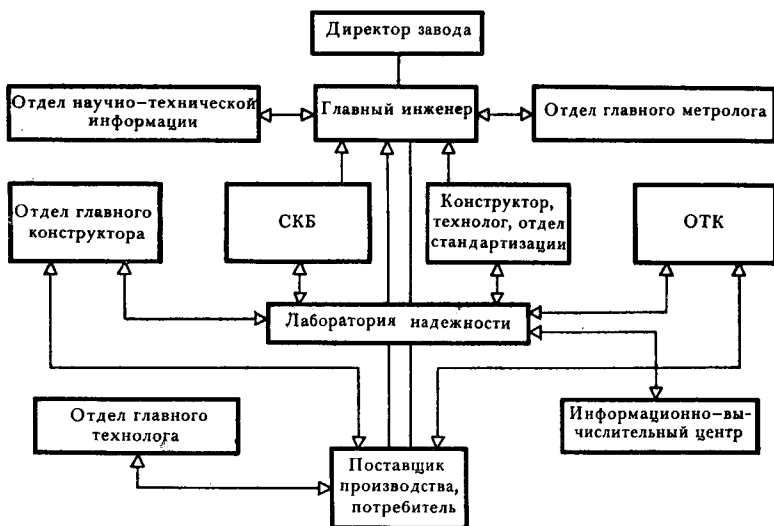


Рис. V-32. Схема системы управления качеством на заводе

определенный порядок в организации специальных подразделений управления качеством.

На предприятиях система управления качеством проходит по двум направлениям: одно из них предполагает создание на предприятии службы качества, возглавляемой специальным заместителем директора по качеству; второе — наличие единой функциональной системы, которая предполагает сохранение установившейся административной подчиненности подразделений и лишь некоторое изменение и расширение функций отделов и служб, а также установление функциональной координации всех подразделений по вопросам, связанным с качеством.

Подразделения, вырабатывающие, осуществляющие и корректирующие воздействия на производственный процесс, подчинены главному инженеру предприятия, которому подчиняются подразделения, собирающие и анализирующие информацию о качестве выпускаемой

продукции. Система управления качеством становится составным элементом общей системы управления предприятием (рис. V-32).

Собранная оперативная информация используется для выработки корректирующих воздействий по устранению или предотвращению отклонений. Обработка статистической информации завершается решениями в виде конкретных заданий на разработку новых конструкций и технологических процессов, на совершенствование выпускаемой продукции и технологических процессов, на совершенствование или разработку новых средств и методов контроля. Конструктивно-технологические усовершенствования продукции, улучшения технологических процессов, оборудования, средств и методов контроля осуществляются постоянно.

Важнейшим элементом системы управления качеством является планирование повышения качества и надежности продукции. В условиях производства все работы по улучшению качества обычно ведутся комплексно с участием отделов, бюро и цехов. Поэтому все работы по улучшению качества продукции планируются. Предметом планирования являются показатели, характеризующие качество. Уже в техническом задании на разработку продукции наряду с основными параметрами записываются требования по долговечности и надежности. В процессе разработки и на начальных стадиях организации производства все эти показатели уточняются, записываются в технические условия или стандарты и становятся отправными при планировании дальнейшего повышения качества.

§ 6. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ (АСУП)

В современном производстве одним из основных факторов повышения производительности труда является создание автоматизированных систем управления (АСУ).

Автоматизация управления производством с помощью электронных вычислительных машин (ЭВМ) обеспечивает создание условий для повышения мобильности управления, принятие оптимальных вариантов решений и, таким образом, повышает эффективность управления.

На современном этапе развития производительных сил совершенствование управления производством на основе применения ЭВМ дает экономический эффект не только за счет повышения производительности управленческого труда (что ограничивает рост управленческого аппарата), но и за счет того, что новая техника управления становится на один уровень с уровнем техники производства и помогает лучшему ее использованию.

Механизация и автоматизация процессов управления современным производством, как это отмечено в решениях XXV съезда КПСС, является одним из наиболее эффективных направлений технического прогресса, поскольку это достигается сравнительно небольшими капитальными вложениями. Автоматизированные системы управления по мощности переработки информационных потоков делятся на три основные группы:

Автоматизированные системы управления: 1) технологическими процессами производства; 2) предприятиями-объединениями и территориальными организациями; 3) автоматизированные системы управления отраслевого или ведомственного назначения.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами производства (АСУ ТП) решают проблему поддержания оптимального технологического режима оборудования. В этом случае совместно с объектом (например, станок или автоматическая линия с программным управлением) применяется управляющая ЭВМ, в задачу которой входит непрерывное вычисление критериев оптимальности (целевых

функций) и выработка команд для управления процессом. Существуют два способа определения наилучшего технологического режима: поиск на объекте управления и вычисление параметров, оптимизирующих целевую функцию вне объекта.

В качестве критериев оптимальности могут быть приняты: минимальная себестоимость обрабатываемого изделия, наилучшее качество обрабатываемого изделия при заданной производительности, минимум срока окупаемости капитальных затрат, максимум обобщенного коэффициента эффективности суммарных затрат, максимум коэффициента роста производительности общественного труда и т. д.

Автоматизированные системы управления предприятиями, объединениями и территориальными организациями, служащие для сбора и обработки информации, учета, планирования и управления народным хозяйством.

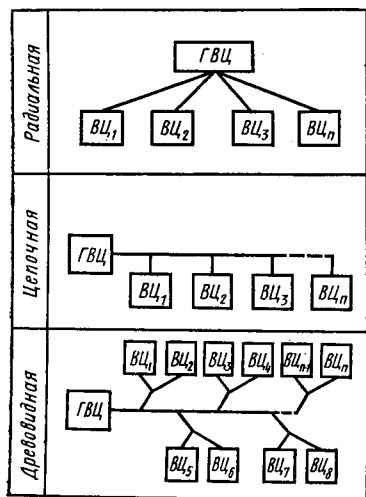


Рис. V-33. Типовые структуры автоматизированных систем управления АСУ:

ГВЦ — главный вычислительный центр, ВЦ₁, ВЦ₂, ВЦ₃, ..., ВЦ_n — периферийные вычислительные центры

Автоматизированные системы управления отраслевого или ведомственного назначения являются наиболее сложными системами, оснащенными мощной вычислительной техникой, сосредоточенной в главном вычислительном центре (ГВЦ), в который поступает информация от периферийных вычислительных центров.

По характеру линий связи источников информации автоматизированные системы управления делятся на радиальные, цепочные и древовидные (рис. V-33).

При выборе наиболее рациональной схемы следует исходить из принципа минимизации числа линий связи. С увеличением количества управляющих центров и объектов усложняется и структура АСУ.

При радиальной структуре управляемые объекты непосредственно связаны с ГВЦ. При цепочной структуре управляемые контролируемые объекты расположены вдоль линии связи. Примерами таких систем являются транспортные системы, АСУ магистральными газопроводами и т. д. Древовидная структура применяется в условиях сложной топографии контролируемых и управляемых объектов. В зависимости от их взаимосвязи и расположения эта структура может строиться по методу одностовольных, многостовольных и кустовых образований.

В случае управления сложными комплексами с большим числом рассредоточенных объектов отдельные части системы укрупняются и для

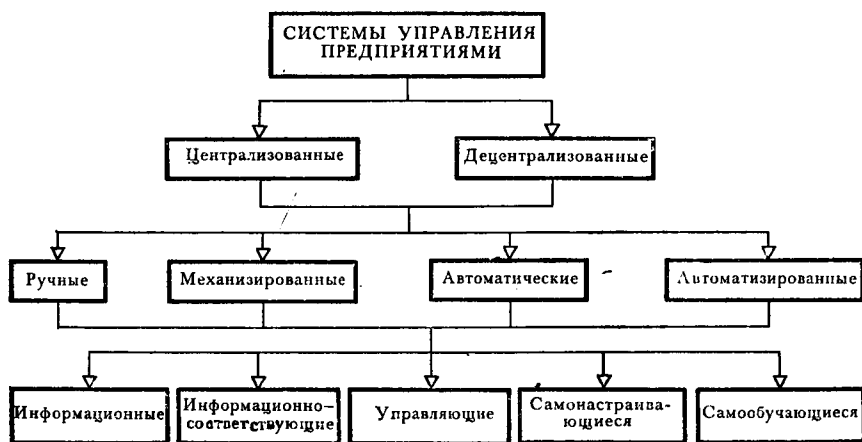


Рис. V-34. Классификация систем управления предприятиями

получения более оптимальной структуры используется принцип иерархического управления.

Наиболее широко распространенными являются системы управления предприятиями. По способу распределения функций управления они делятся на централизованные и децентрализованные системы управления (рис. V-34). По технической вооруженности труда различают системы ручные, механизированные, автоматические и автоматизированные. Причем автоматические системы при управлении предприятием поддерживают на заданном уровне значения контролируемых параметров, в то время как автоматизированные поддерживают оптимальные значения этих параметров.

Возможности систем управления предприятием в значительной мере определяются степенью алгоритмизации выработки управляющих воздействий. В связи с этим различают информационные, информационно-советующие, управляющие, самонастраивающиеся и самообучающиеся системы управления.

Информационные системы обеспечивают лишь переработку поступающего объема информации и представляют ее в виде, удобном для анализа.

Информационно-советующие, кроме переработки информации, рекомендуют оператору решения, наиболее целесообразные в той или иной ситуации.

Управляющие системы обеспечивают управление производством с минимальным участием оператора, который может корректировать управление в случаях, не предусмотренных алгоритмом, заложенным в системе управления. При изменении внешних условий процесса управления наиболее предпочтительны самонастраивающиеся системы управления предприятием, которые приспосабливаются к изменению условий работы.

Самую высокую ступень автоматизации управления обеспечивают самонастраивающиеся системы, меняющие алгоритм управления в зависимости от вида управляющих и возмущающих воздействий.

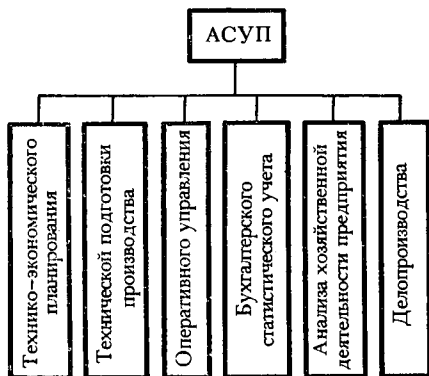


Рис. V-35. Типы автоматизированных систем управления предприятием в зависимости от назначения

Автоматизированные системы управления производством разделяют по стадийности вырабатываемых воздействий на системы технико-экономического планирования, технической подготовки производства, оперативного управления, бухгалтерского статистического учета, анализа хозяйственной деятельности предприятия и делопроизводства (рис. V-35).

Сферы управления АСУП делятся на сферу управления основным производством и вспомогательным производством (рис. V-36). В свою очередь при этом могут решаться вопросы труда и заработной платы, материально-технического снабжения, управления технологическим оборудованием и качеством продукции.

Автоматизированная система управления предприятием является сложной вероятностной системой, для нормального функционирования которой требуется непрерывный контроль со стороны оператора. Структура и параметры, заложенные в систему, требуют экономико-математического моделирования и программирования процесса производства и управления им во всех подразделениях предприятия.

Целью системы управления должно быть обеспечение максимальной эффективности работы всех звеньев в отдельности и всего предприятия в целом.

Структура и алгоритмы управления автоматизированных систем в наибольшей степени определяются спецификой, характером и масштабом производства, а также критериями качества, определяющими эффективность работы предприятия.

Рассмотрим автоматизированную систему управления московского инструментального завода «Фрезер». Это предприятие производит

режущий инструмент (сверла, метчики, плашки, фрезы, развертки, сложные резьбонарезные головки и другие виды инструмента) для всех отраслей народного хозяйства, а также специальные станки для инструментальной промышленности. Главной особенностью производства является его разнохарактерность — от индивидуального до массового.

Одновременно на позициях обработки находится до 1800 типоразмеров инструмента, для изготовления которых требуется произвести 10 млн. операций в сутки.

Для реализации производственной программы на заводе «Фрезер» используется более 1000 типосортразмеров основных материалов и 15 тыс. вспомогательных материалов, получаемых от 500 поставщиков.

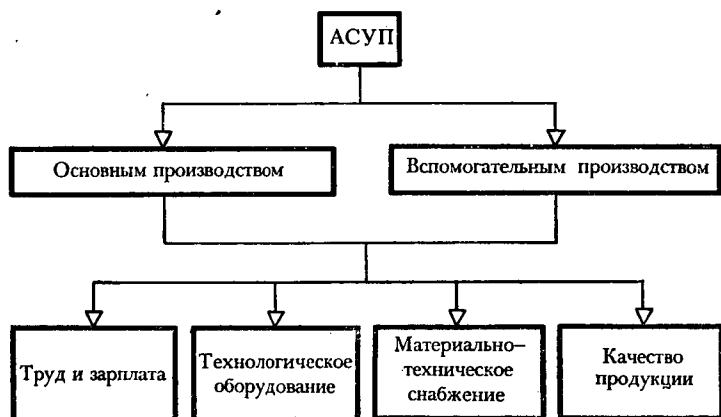


Рис. V-36. Сферы управления АСУП

Основной целью при создании АСУ завода «Фрезер» (рис. V-37) являлось создание более простой структуры управления с уточненными связями между отдельными подразделениями и уменьшением числа уровней управления. При этом необходимо было более правильно сочетать методы централизованного и децентрализованного управления с использованием коренным образом измененного технологического процесса переработки информации на основе использования механизированных и автоматизированных устройств ЭВМ.

Выбор структуры системы управления на заводе определяется следующими производственными особенностями: преобладанием крупносерийного производства малодетальной и однодетальной продукции, отсутствием сложных сборочных процессов, а следовательно, и сборочных цехов, однотипностью изделий, позволяющей широко использовать типовую технологию и объединять изделия в группы, однородностью структуры трудоемкости, однотипностью и прямооточностью производственных потоков для всех видов инструмента по технологическим стадиям, наличием на различных технологических стадиях различных форм организации производства, многономенкла-

турностью производства, необходимостью отчета завода перед вышестоящими органами о выполнении плана по группам изделий.

В связи с особенностями производственных условий автоматизированная система управления завода «Фрезер» обеспечивает оптимальное планирование с учетом реальных условий производства по выбранным критериям, минимизирует объем информации путем создания документов многоцелевого назначения и многократного действия, органи-

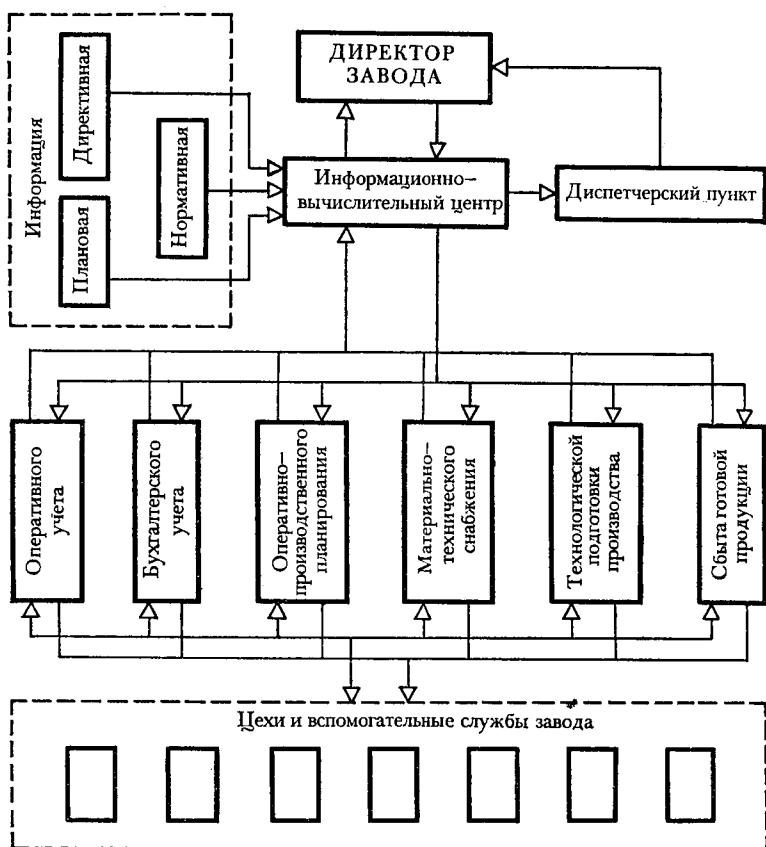


Рис. V-37. Схема автоматизированной системы управления заводом «Фрезер»

зует работу органов регулирования производства на основе информации по отклонению, рационально распределяет информацию по различным ступеням управления, комплексно механизмирует и автоматизирует управленческие работы путем сочетания различных средств вычислительной и организационной техники, комплексно использует основные направления повышения эффективности управления, использует такие критерии, как экономичность и оперативность при выборе работ, выполняемых на ЭВМ.

При обработке информации с помощью ЭВМ большое значение придается методам решения тех или иных задач автоматизированного управления производством. Так, например, при решении задач, связанных с прогнозированием спроса на продукцию, управления трудовыми и материально-техническими ресурсами, применяются методы теории вероятностей и математической статистики и теории игр; для решения задач технической подготовки производства — сетевые методы.

Большое применение в экономических расчетах получили методы линейного программирования, которое используется в перспективном планировании для расчета нормы общественного разделения труда, в задачах технико-экономического и оперативно-календарного планирования и для решения задач управления материальными ресурсами.

Рассмотрим применение линейного программирования при решении задачи оптимальной загрузки оборудования с целью наилучшего использования фонда времени его работы. Предположим, что в цехе имеется четыре группы оборудования: токарная, шлифовальная, сверлильная и фрезерная. При этом заданы месячные фонды времени их работы, а также нормы времени на обработку изделий двух наименований на станках каждой группы (табл. V-4). Известно, что изделий первого наименования I_1 должно быть не менее 200 шт., а изделий второго наименования I_2 — не более 900, но не менее 300 шт. Необходимо определить количество изделий I_1 и I_2 , которое должно быть изготовлено в течение месяца при наиболее полной загрузке оборудования.

Т а б л и ц а V-4

Группа оборудования	Нормы времени на обработку изделий, ч		Фонд времени работы группы оборудования, ч
	I_1	I_2	
Сверлильная	0,453	0,1	540
Токарная	0,567	0,8	903
Фрезерная	0,496	0,2	620
Шлифовальная	0,155	0,5	612

Обозначаем искомые величины соответственно z_1 и z_2 . Тогда ограничения по фонду времени работы на каждой группе оборудования имеют вид:

$$0,155 z_1 + 0,5 z_2 = 612; \quad (V-1)$$

$$0,567 z_1 + 0,8 z_2 = 903; \quad (V-2)$$

$$0,496 z_1 + 0,2 z_2 = 620; \quad (V-3)$$

$$0,453 z_1 + 0,1 z_2 = 540. \quad (V-4)$$

Ограничения, накладываемые на месячный выпуск изделий:

$$z_1 \geq 200; \quad (V-5)$$

$$z_2 \geq 150; \quad (V-6)$$

$$z_3 \leq 900, \quad (V-7)$$

Условие оптимальности использования ресурса работы оборудования в данном случае имеет вид:

$$V = 0,453 z_1 + 0,1 z_2 + 0,567 z_1 + 0,8 z_2 + 0,496 z_1 + 0,2 z_2 + 0,155 z_1 + 0,5 z_2 = \max$$

или

$$V = 1,67 z_2 + 1,671 z_1 = \max. \quad (V-8)$$

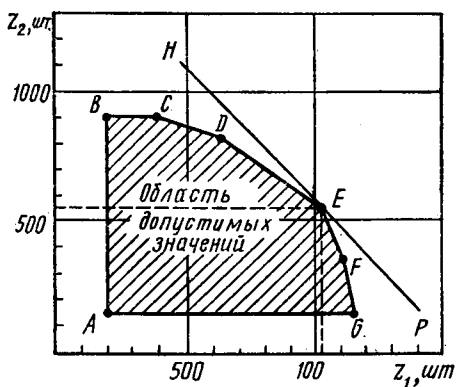


Рис. V-38. Графическое решение задачи линейного программирования

В случае двух переменных задача может быть решена графическим способом. Для этого необходимо построить область допустимых значений изменения переменных z_1 и z_2 согласно ограничениям (V-1) — (V-7). Эта область получается в виде многоугольника $ABCDE$ (рис. V-38). Наилучшая загрузка оборудования обеспечивается в точке касания E прямой HP из семейства прямых, построенных по уравнению (V-8), так как в этом случае суммарное время работы оборудования является наибольшим.

Для данного случая оптимальное количество деталей, обрабатываемых в месяц, $z_2 = 550$ шт., $z_1 = 1020$ шт., при этом максимально возможное суммарное время загрузки оборудования составляет 2593 ч (общий фонд времени работы оборудования 2675 ч).

Метод линейного программирования позволяет решать задачи расчета нормы общественного разделения труда, технико-экономического планирования, оперативно-календарного планирования, управления материальными ресурсами. При этом количество неизвестных может достигать нескольких сотен и в этом случае необходимо применение электронно-вычислительных машин.

Для общего случая геометрически область допустимых значений имеет вид выпуклого многогранника в n -мерном пространстве (n — число неизвестных), а решение является точкой касания плоскости с этим многогранником в одной из его вершин.

Математическая формулировка общей задачи линейного программирования имеет вид:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

$$b_i \geq 0, \quad x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (V-9)$$

Найти $\max v$; $v = \sum_{j=1}^m C_j x_j$.

Решение этой задачи проводится методом последовательного улучшения плана (симплексный метод) по следующим шагам:

1. Выбирают максимальное значение C_j в строке целевой функции v (обозначим это значение C_k).

2. Выбирают минимальное отношение b_i/a_{ik} для всех $a_{ik} > 0$ (обозначим это отношение b_q/a_{qk}). Если все $a_{qk} > 0$, то решение не ограничено.

3. Делят q -ю строку на a_{qk} .

4. Вычисляют (или складывают) элементы q -й строки, умноженные на соответствующие коэффициенты из всех строк так, чтобы в k -ом столбце были одни нули. Новая переменная — x_k .

5. Выбирают максимальное значение C_j в преобразованной целевой функции. Если все $C_j \leq 0$, полученное решение является оптимальным. В противном случае вернуться к шагу 2.

Согласно вышеизложенному алгоритму может быть составлена программа для ЭВМ, с помощью которой можно решить любую задачу линейного программирования.

Целевая функция и ограничения, накладываемые на область изменения переменных в задачах расчета нормы общественного разделения труда, направления капиталовложений, а также оперативно-календарного планирования, могут быть нелинейными. Задачи нелинейного программирования решаются значительно труднее, чем задачи линейного программирования, и вычисленные приемы разработаны лишь для решения немногих типов этих задач.

Наиболее полно разработаны способы решения задач нелинейного программирования, в которых заданы линейные ограничения и нелинейная целевая функция.

В общем виде такая задача имеет вид:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \{ \leq, =, \geq \} b_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n;$$

$$x_j \geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (V-10)$$

Найти $\text{extr } v$; $v = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$.

Даже для задач с линейными ограничениями вычислительные методы разработаны лишь для случаев, когда целевая функция имеет определенные свойства. Например, чтобы она могла быть представленной в виде суммы n -функций, каждая из которых является функцией лишь одной переменной:

$$V = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_m(x_m). \quad (V-11)$$

Кроме того, допускается, чтобы целевая функция выражалась как сумма линейной и квадратичной формы:

$$\begin{aligned} V = f(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \sum_{j=1}^m C_j x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} x_i x_j = \\ &= C_1 x_1 + C_2 x_2 + \dots + C_m x_m + d_{11} x_1^2 + d_{12} x_1 x_2 + \dots + \\ &+ d_{1m} x_1 x_m + d_{nn} x_n^2. \end{aligned} \quad (V-12)$$

Задачи, в которых целевая функция представляется в виде уравнения (V-12), называются задачами квадратичного программирования.

Кроме указанных, имеется еще один класс задач, относящихся к классическим задачам оптимизации, в которых условия могут быть приведены к виду:

$$g_j(x_1, x_2, \dots, x_m) = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (V-13)$$

Найти $\text{extr } v; v = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$.

Решение этих задач можно получить средствами классических методов, использующих необходимые и достаточные условия экстремума функции с применением метода множителей Лагранжа.

Особый класс задач нелинейного программирования составляют задачи линейного программирования с дополнительным требованием, чтобы переменные принимали только целочисленные значения, такие задачи называют задачами целочисленного линейного программирования.

Математическая формулировка их такова:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \{ <, =, > \} b_j, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ x_j \geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, m; \end{aligned} \quad (V-14)$$

некоторые или все x_j — целые.

Найти $\text{extr } V; V = \sum_{j=1}^m C_j x_j$.

Еще один класс задач нелинейного программирования составляют стохастические многошаговые задачи принятия решений (стохастическое программирование), часто встречающееся, например, в планировании производства при управлении запасами. В этом случае переменные x_j являются функциями каких-либо параметров, причем некоторые из параметров могут быть случайными величинами. Например, в задаче линейного программирования можно предположить, что случайными могут быть коэффициенты a_{ij} .

Вычислительные методы, применяемые при решении задач нелинейного программирования, весьма разнообразны, однако они не всегда дают точное решение. Один из наиболее сильных способов решения этих задач состоит в преобразовании условия задачи к виду,

допускающему применение симплексного метода. Другим универсальным методом решения задач нелинейного программирования является динамическое программирование.

Кроме того, можно назвать градиентный метод. Как и симплексный метод, он представляет собой итеративную процедуру, в которой от одного допустимого решения приходим к другому таким образом, что значение целевой функции стремится к экстремуму.

§ 7. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУ ТП)

Одной из характерных тенденций развития систем автоматического управления в машиностроении, как отмечалось выше, является использование вычислительной техники — современных электронных вычислительных машин не только для сбора и преобразования информации, но и для непосредственного управления технологическими машинами и системами машин. Такие системы управления в отличие от традиционных, давно известных систем управления с распределительным валом и кулачками, копирами, упорами и т. д. получили название автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Главной отличительной чертой традиционных систем управления технологическими объектами с дискретным характером действия, где необходимая программа работ задается расположением упоров, профилем кулачков копиров или иными материальными аналогами, а также кодируется на перфокартах, перфоленте, перфокартах и магнитной ленте, является жесткое программирование рабочего цикла машин с отсутствием какой-либо обратной связи, кроме систем программного управления с обратной связью по датчикам фактического положения управляемых органов.

Поэтому задачи выполнения системами управления технологическими объектами с дискретным характером операций формулируются лишь как обеспечение необходимой координации работы механизмов и устройств во времени и пространстве. Управляемым считается такой технологический процесс, где по заранее разработанной программе объект обработки подвергается технологическим воздействиям в соответствии с заданными методами, маршрутами и режимами обработки, контроля, сборки.

Появление систем управления, основанных на применении вычислительной техники, позволяет рассматривать управляемый технологический процесс как процесс, для которого определены контролируемые воздействия, установлены вероятностные и детерминированные зависимости между входными воздействиями и выходными параметрами выпускаемых изделий, разработаны методы измерения входных воздействий и выходных параметров и методы управления процессами. Таким образом, важнейшее преимущество АСУ ТП перед традиционными системами управления на механической, гидравлической, электрической основе заключается в гибком управлении с

оперативным реагированием на все возможные (и неизбежные) отклонения параметров процесса исходя из обеспечения целевой функции автоматизируемого оборудования. Задачи, выполняемые в системе «технологический процесс — АСУ ТП», можно сформулировать следующим образом: по полученным данным о технологическом процессе составить прогноз хода технологического процесса и такой план управляющих воздействий (например, изменения режимов обработки), чтобы в определенный момент состояние технологического процесса отвечало некоторому экстремальному значению обобщенного критерия качества.

Основные методические положения по классификации, анализу и синтезу АСУ ТП регламентированы «Общеотраслевыми руководящими методическими материалами», утвержденными постановлением Государственного Комитета Совета Министров СССР по науке и технике (ГКНТ СССР) от 31 декабря 1974 г. Согласно этим руководящим материалам АСУ ТП — система, реализуемая на базе высокоэффективной вычислительной и управляющей техники, обеспечивающая управление технологическим объектом на основе централизованно обработанной информации, по заданным технологическим и технико-экономическим критериям, определяющим количественные и качественные результаты выработки продукта, и подготавливающая информацию для решения организационно-экономических задач.

Высокопроизводительные современные технические системы как совокупность автоматизированного технологического оборудования и высокоэффективных средств управления на базе ЭВМ (АСУ ТП) получили название автоматизированных технологических комплексов (АТК). Таким образом, АСУ ТП является высшей степенью автоматизации управления технологическим оборудованием и одновременно низовым информационным звеном промышленных АСУ, как это видно из общей классификации автоматизированных систем управления (рис. V-39).

В реальных условиях современного машиностроения, особенно в условиях серийного и массового быстросменного производства, АСУ ТП как подкласс АСУ производственно-технологического класса (рис. V-39) весьма тесно смыкается с АСУ проектно-конструкторского класса и прежде всего с АСУ технологической подготовки производства (АСУ ТПП), которые осуществляют автоматизированную подготовку управляющих программ для АСУ ТП, а также в ряде случаев расчет и проектирование объектов, изготавливаемых на АТК.

В настоящее время технически реализуемый перечень управляющих и информационных функций, выполняемых автоматизированными системами управления (АСУ ТП), весьма велик и в общем виде сводится к следующим:

а) управляющие: регулирование отдельных параметров технологического процесса; одноканальное логическое управление (выполнение блокировок, защит и т. д.); каскадное регулирование; многосвязное

регулирование; выполнение программных и логических операций дискретного управления процессом и оборудованием; оптимальное управление установившимися режимами технологического процесса и работы оборудования; оптимальное управление неустановившимися режимами технологического процесса и работы оборудования; оптимальное управление технологическим объектом в целом с самоприспособлением системы управления. Приведенный перечень не исклю-

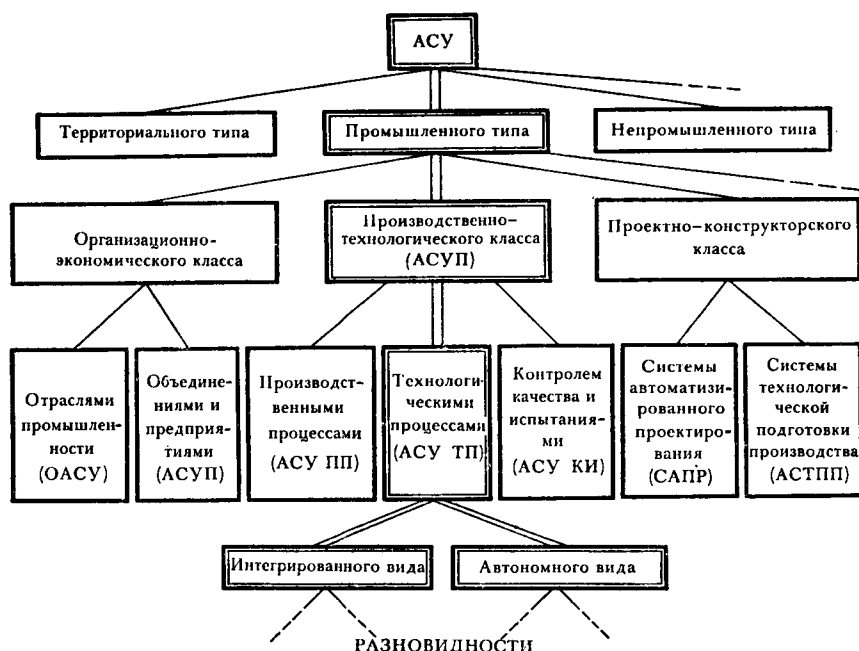


Рис. V-39. Классификация автоматизированных систем управления на базе ЭВМ

чает выполнения АСУ ТП и других функций, необходимых в том или ином случае;

б) информационно-вычислительные: сбор, первичная обработка и хранение технической и технологической информации; косвенные измерения параметров процесса и состояния технологического оборудования; сигнализация состояний параметров технологического процесса и технологического оборудования; расчеты технико-экономических и эксплуатационных показателей технологического процесса и работы технологического оборудования; подготовка информации для вышестоящих и смежных систем и уровней управления; регистрация параметров технологического процесса, соотношения технологического оборудования и результатов расчетов; контроль и регистрация отклонений параметров процесса и состояния оборудо-

вания от заданных; анализ срабатывания блокировок и защит технологического оборудования; диагностика и прогнозирование хода технологического процесса и состояния технологического оборудования; диагностика и прогнозирование состояний комплекса технических средств АСУ ТП; оперативное отображение информации и рекомендаций ведения технологического процесса и управления технологическим оборудованием; выполнение процедур автоматического обмена информацией с вышестоящими и смежными системами управления.

В зависимости от объема выполняемых функций существует ряд иерархических уровней управления промышленным машиностроительным предприятием, которые в совокупности осуществляют автоматизированные функции управления организационно-экономической и хозяйственно-производственной деятельностью предприятия на основе применения экономико-математических методов и ЭВМ.

Верхним уровнем управления является комплексная АСУП, реализованная в масштабе предприятия и его основных подразделений (подсистем).

Средним уровнем являются одна или несколько автоматизированных систем управления производственными процессами (АСУ ПП), входящих в качестве подсистем в комплексную АСУП и осуществляющих функции прямого оперативного управления производством.

Низовым уровнем являются отдельные АСУ ТП, которые входят в состав подсистем в АСУ ПП или непосредственно в АСУП.

При взаимодействии с вышестоящими уровнями АСУ ТП получает от них: номенклатуру выпускаемых изделий, их количество и сроки выпуска, технико-экономические показатели выполнения производственных заданий.

В вышестоящие уровни АСУ ТП выдает обобщенные фактические данные о ходе технологических процессов, количественных и качественных показателях выпущенных изделий, состоянии технологического оборудования, потреблении инструмента, электроэнергии, вспомогательных материалов, технологической себестоимости и др.

В свою очередь, в автоматических системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) в зависимости от степени охвата технологических объектов (машин, систем машин) и выполняемых функций также можно выделить ряд иерархических уровней (см. рис. V-39).

Уровень I. Системы управления отдельными технологическими процессами (дискретными или непрерывными), операциями, работами. Выполняемые функции: изменение режимов и хода технологических операций обработки, выработка и корректировка конечного состояния технологических операций с целью обеспечения требований качества.

Уровень II. Системы комплексного управления производством отдельных изделий с охватом комплекса технологических операций обработки, контроля, сборки. Выполняемые функции: изменение хода процесса в целом, его расчет и реализация; оперативное управление

ходом производственного процесса на уровне участков и цехов).(прохождение взаимосвязи процессов через узловые точки). Именно на этом уровне осуществляется взаимосвязь АСУП и АСУ ТП.

Если на уровне I выполняются, как правило, чисто технологические функции, то на уровне II выполняемые функции можно охарактеризовать как информационно-технологические. На всех уровнях АСУП, как известно, реализуются информационные и организационно-технологические функции.

Основными элементами АСУ ТП, обеспечивающими их функционирование, являются комплексы технических средств (техническое обеспечение), общесистемная техническая документация и эксплуатационный персонал. Комплекс технических средств (КТС АСУ ТП) включает совокупность: а) вычислительных и управляющих устройств, б) устройств передачи сигналов и данных, в) датчиков сигналов и исполнительных устройств, полностью обеспечивающих выполнение всех функций конкретной АСУ ТП. Классификация технических средств АСУ ТП приведена на рис. V-40.

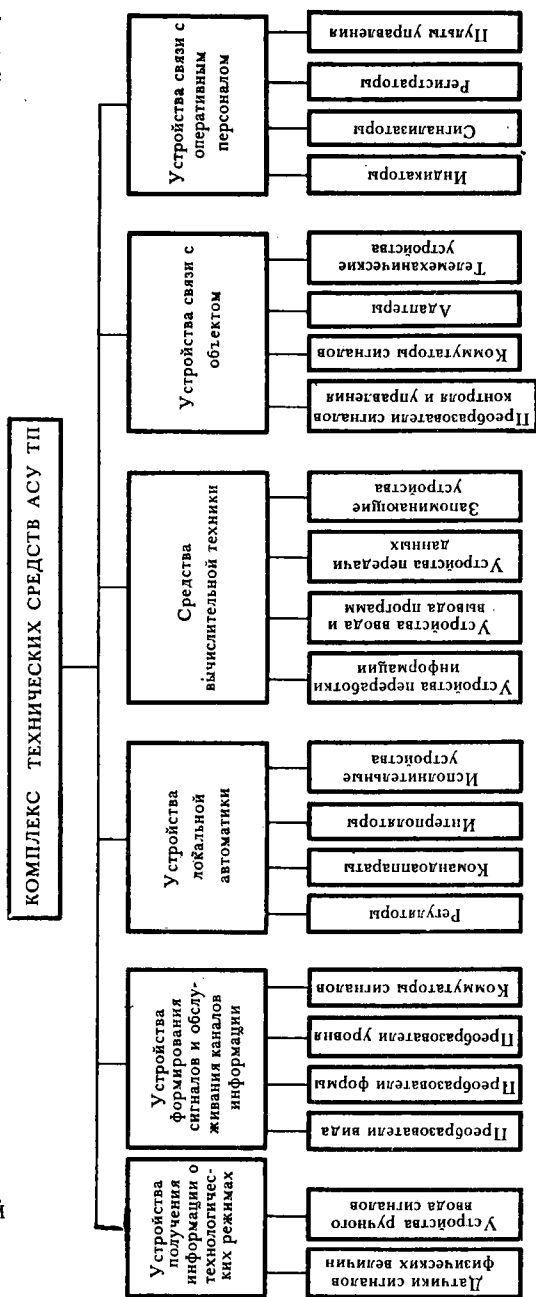


Рис. V-40 Классификация технических средств АСУ ТП

В зависимости от особенностей управляемого технологического оборудования комплекс технических средств выполняется с прямым или непрямым взаимодействием.

При прямом взаимодействии управляющий вычислительный комплекс (УВК) непосредственно осуществляет управление технологическим оборудованием. Классификация основных структурных вариантов КТС АСУ ТП приведена на рис. V-41.

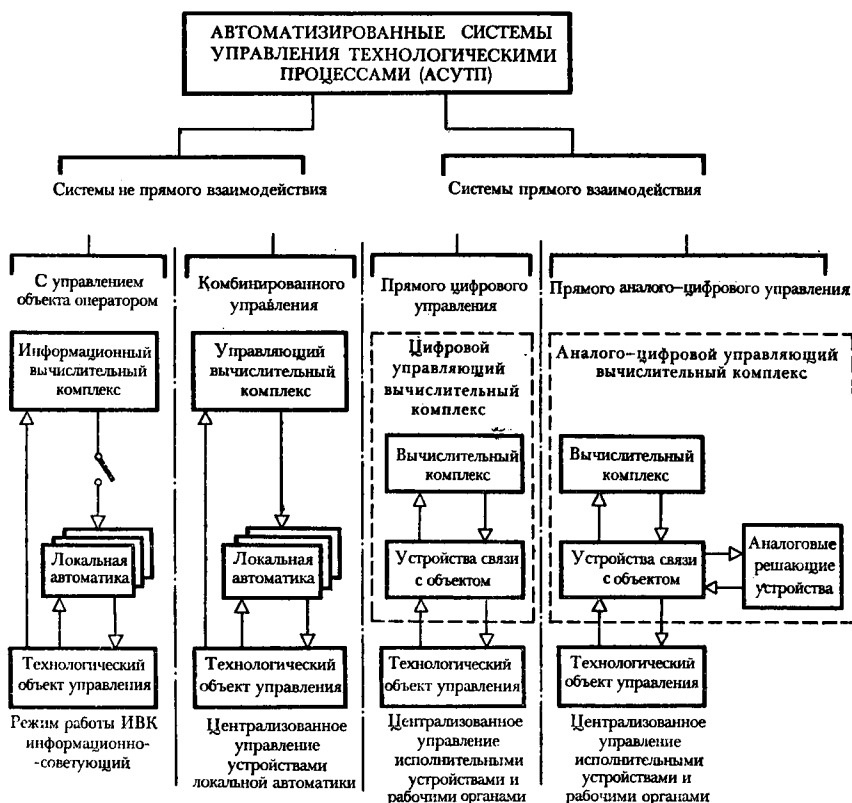


Рис. V-41. Основные структурные варианты реализации комплекса технических средств АСУ ТП

При непрямом взаимодействии управление технологическим объектом может осуществляться либо в режиме советчика оператора (разомкнутая система управления), либо путем взаимодействия с системами локальной автоматки, когда оборудование имеет традиционные системы управления (по упорам, копировальные, распредел и др.).

В зависимости от характера взаимосвязи АСУП и АСУ ТП различают автономные и интегрированные системы управления технологическими процессами.

Системы, осуществляющие автоматический обмен информацией со смежными и вышестоящими уровнями управления по каналам передачи данных, называются интегрированными. С их помощью АСУ ТП автоматически получают от вышестоящих уровней производственные задания по номенклатуре изделий, их количестве и сроках изготовления и т. д.

Аналогично при нормальном функционировании АСУ ТП на вышестоящие уровни управления автоматически поступает информация о выполнении заданий и основных показателях работы АТК. При автономных системах управления технологическими процессами такая информация систематизируется и передается с участием операторов, с использованием иных технических средств (телефонная, телетайпная связь и т. д.).

Выполняемые функции и степень интегрирования являются основными классификационными признаками АСУ ТП. Кроме того, системы различаются по способу управления (посредством оператора, комбинированные, прямое цифровое и аналого-цифровое управление, см. рис. V-41), по количеству точек контроля и управления АТК, по типам управляемых технологических процессов (прерывистые и непрерывные и т. д.).

В настоящее время автоматизированные технологические комплексы (АТК) с управлением от ЭВМ начинают широко внедряться в различных отраслях производства и прежде всего в отраслях с непрерывными технологическими процессами, требующими много-связного регулирования и стабилизации (металлургия, химическая и нефтяная промышленность и др.). Значительный опыт эксплуатации АСУ ТП накоплен в электронной промышленности, где на базе данных систем автоматизируется оборудование со сложными физико-химическими процессами: вакуумная обработка, нанесение покрытий, функциональный контроль и др.

В машиностроении, где основными технологическими процессами являются процессы механической обработки, наиболее подготовленной базой для внедрения АСУ ТП автономного и интегрированного типа являются участки станков с программным управлением, которые в своем обычном (базовом) варианте объединены лишь общей производственной площадью и составом обслуживающих рабочих.

Типовая перспективная схема интегрированной системы управления машиностроительным производством с серийным характером выпускаемой продукции приведена на рис. V-42. Она охватывает в качестве низового уровня подсистемы управления технологическими процессами на различных стадиях производства: 1) процессами механической обработки, которые выполняются на участках из станков с программным управлением, объединенных транспортно-распределительной системой; 2) процессами термообработки и нанесения покрытий; 3) процессами сборки и комплектации; 4) процессами окончательного контроля, складирования и выдачи готовой продукции.

Предприятия с быстросменяющимися объектами производства могут иметь подсистему управления процессами разработки и испытания опытных образцов изделий, технологической подготовки про-

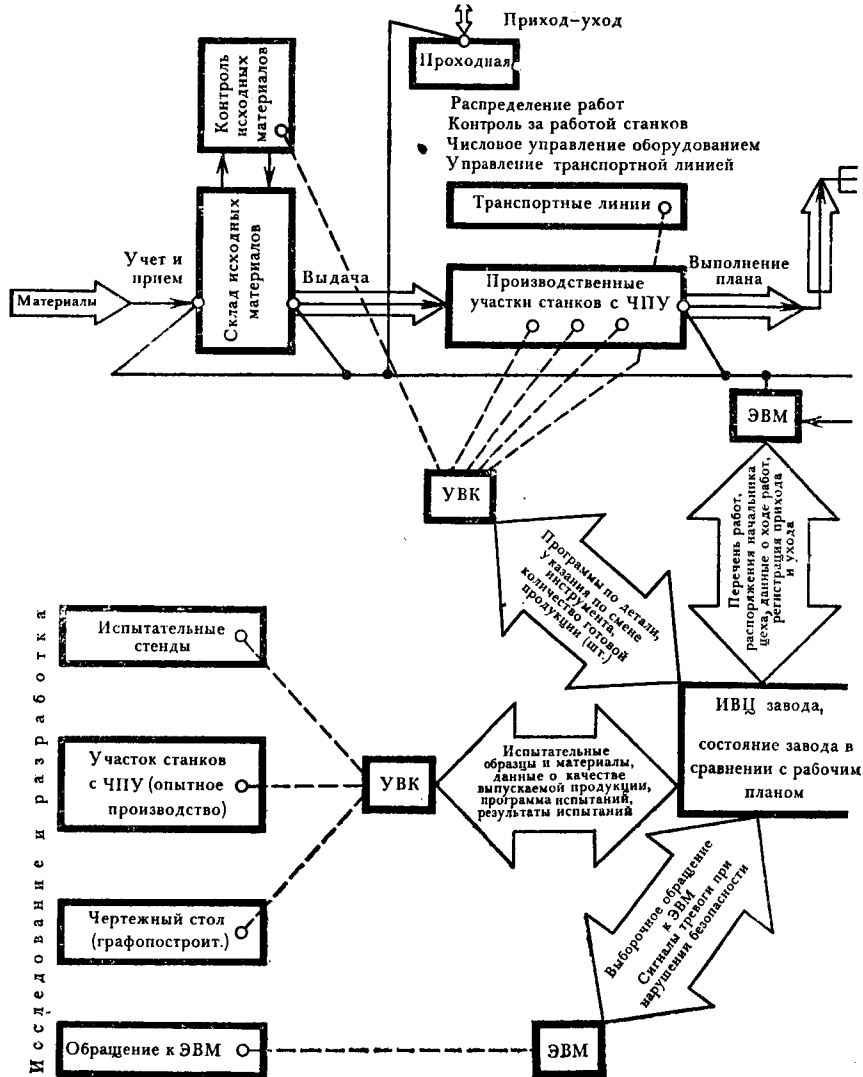
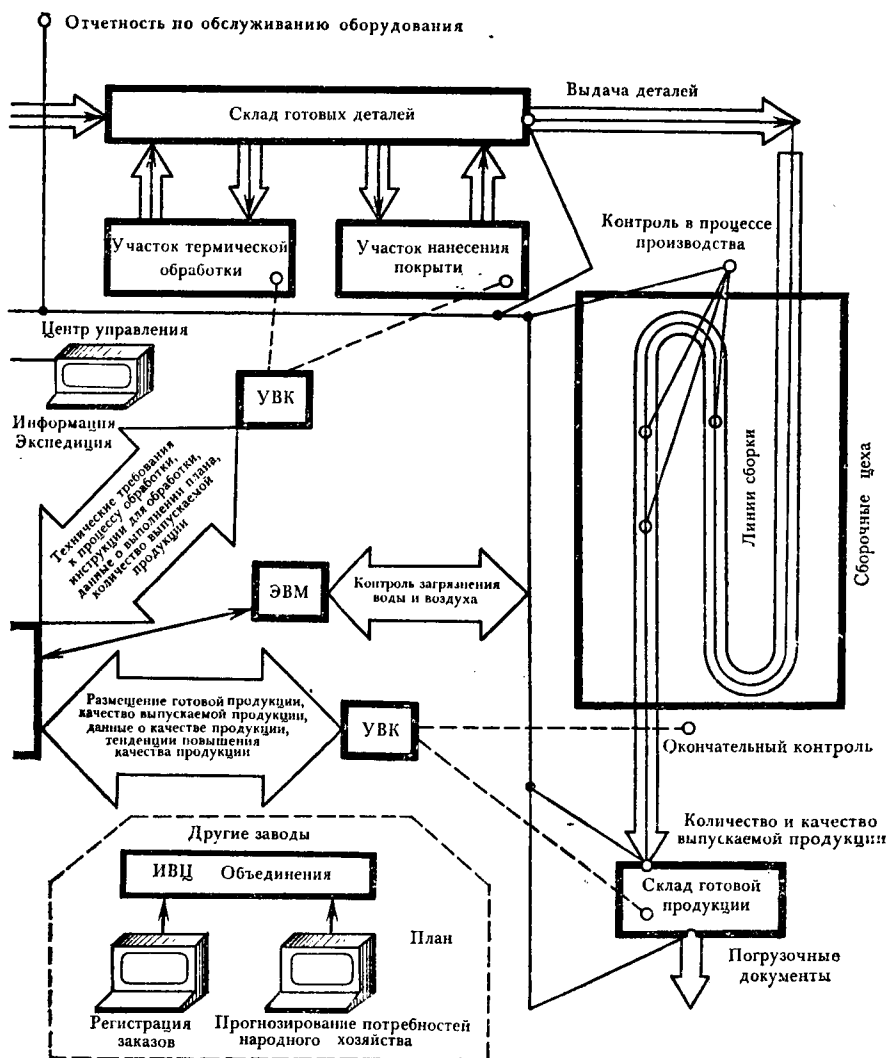


Рис. V-42 Функциональная схема интегрированной систе-

изводства и др. Каждая подсистема управляется своим управляющим вычислительным комплексом, как правило, на основе специализированных ЭВМ, которое интегрированы на более высоком уровне с центральной ЭВМ в ИВЦ — информационный вычислительный центр завода — с постоянным обменом оперативной информацией. В состав интегрированной системы входят также «мини-ЭВМ», выполняющие чисто информационные и организационные функции (приход—



мы управления машиностроительным производством

уход, поступление исходных материалов, контроль загрязнения воды и воздуха и др.). В свою очередь, ИВЦ завода входит в качестве низового уровня в интегрированную систему управления производственным объединением — отраслью. В настоящее время в машиностроении произведены первые разработки систем такого типа рядом организаций (ЭНИМС, НИИТ и др.). Они реализуются прежде всего применительно к участкам из станков с программным управлением (см. гл. 1, § 4).

ЦЕЛЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ С ЖЕСТКОЙ СВЯЗЬЮ

Автоматические линии с жесткой связью, при которой между отдельными станками отсутствуют межоперационные заделы, служат для обработки сложных корпусных деталей, а также деталей, требующих для своего перемещения приспособлений-спутников. В таких линиях единая транспортная система проходит через все рабочие позиции. Детали вместе с транспортером проходят через всю зону обработки. На всех рабочих позициях деталь во время обработки, оставаясь на транспортере, фиксируется и зажимается по базовым поверхностям. При останове одного станка автоматически прекращают работу остальные потому, что движение обрабатываемых деталей принудительно координировано во времени.

Принцип ритмичности требует точного согласования работы всех элементов линии во времени и возможно более равномерной загрузки всех станков автоматической линии.

§ 1. ФУНКЦИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ

Механизмы, служащие для выполнения отдельных элементов технологического процесса и частных движений рабочего цикла, называются целевыми механизмами автоматической линии. Целевые механизмы линий различного технологического назначения отличаются друг от друга по выполняемым функциям, конструкции, габаритам и типу привода. Комплекс взаимно увязанных целевых механизмов образует исполнительный механизм автоматической линии.

Расчленив разнообразные исполнительные механизмы по их целевому назначению, можно найти общие принципы их расчета и конструирования, облегчить и ускорить проектирование линии в целом. Правильный выбор типа целевых механизмов, рациональное их конструирование положительно влияют на работоспособность, производительность, надежность и долговечность линии.

Целевые механизмы автоматических линий многообразны по характеру работы и зависят от технологического процесса, осуществляемого на линии, и, следовательно, от назначения линии. Несмотря на это их можно подразделить на три большие группы (рис. VI-1).

1. Целевые механизмы рабочих ходов, обеспечивающие непосредственно обработку заготовки. Эти механизмы принимают непосред-

ственное участие в формообразовании и контроле обрабатываемой детали и обычно несут соответствующий инструмент.

2. Целевые механизмы холостых ходов, обеспечивающие подготовку и совершение рабочих ходов. Эти механизмы выполняют самые



Рис. VI-1. Классификация целевых механизмов автоматической линии с жесткой связью

разнообразные функции, такие, как транспортирование, зажим, фиксация или поворот обрабатываемой заготовки, удаление отходов и стружки.

3. Целевые механизмы управления, служащие для осуществления заданной последовательности обработки заготовки на автоматической линии.

Очевидно, качество работы автоматических линий зависит от работоспособности отдельных агрегатов и целевых механизмов, встроенных в линию.

Следует отметить, что механизмы холостых ходов имеют в конструкции много общего, что обусловлено общностью их назначения — переместить обрабатываемую заготовку из одной позиции в другую, повернуть, зафиксировать, зажать и т. д.

Большую группу целевых механизмов автоматических линий с жесткой связью составляют транспортные механизмы, которые предназначены для пе-



Рис. VI-2. Классификация транспортных механизмов линий с жесткой связью

редачи обрабатываемых деталей с одной позиции на другую. Транспортные механизмы при этом выполняют еще ряд довольно сложных операций, таких, как поворот обрабатываемых деталей, ориентация и т.д.

Характер работы и состав системы межстаночного транспорта автоматической линии зависит от вида обрабатываемых заготовок и характера технологического процесса. Поэтому правильный выбор системы транспорта имеет большое значение при проектировании и компоновке линий, влияет на производительность линии и надежность в работе.

На рис. VI-2 приведена классификация транспортных механизмов автоматических линий с жесткой связью. Система межстаночного транспорта с жесткими транспортными связями между станками линии включает в себя ряд типовых целевых механизмов и устройств, характерных для этой системы.

Основную группу механизмов транспорта с жесткой связью составляют шаговые транспортеры, осуществляющие шаговое перемещение каждой детали на следующую позицию.

§ 2. ШАГОВЫЕ ТРАНСПОРТЕРЫ

Шаговые транспортеры применяются в автоматических линиях из агрегатных станков, осуществляющих обработку корпусных деталей, в линиях для обработки валов электродвигателей, осей и ступенчатых валов. Шаговые транспортеры осуществляют перемещение обрабатываемых деталей из одной позиции в другую, т. е. на один шаг.

Наибольшее применение получили шаговые штанговые транспортеры с собачками (рис. VI-3, а). При перемещении обрабатываемых деталей 3 вперед (по схеме вправо) штанга 1 транспортера совершает возвратно-поступательное движение (медленное вперед и быстрое назад).

В качестве привода обычно применяется гидроцилиндр. При движении вперед собачки 2 с пружинами захватывают детали 3, перемещая их на следующую позицию. При движении назад собачки утапливаются, поворачиваясь на оси, и проходят под деталями. Если в качестве привода транспортера используются гидропривод поступательного

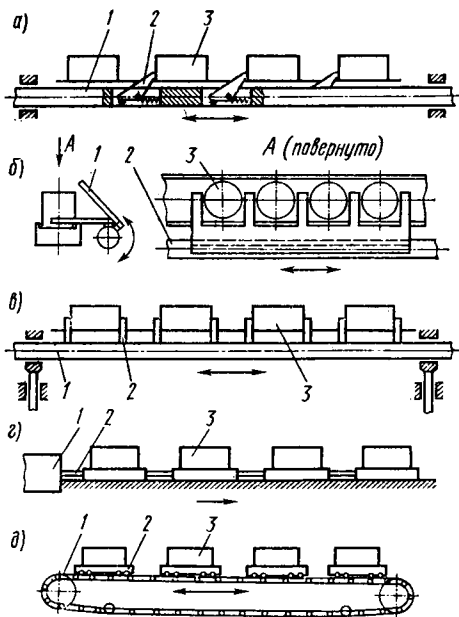


Рис. VI-3. Схема действия шаговых транспортеров в автоматических линиях

движения с электроуправлением, то легко достигается уменьшение скорости перемещения детали в конце хода за счет введения в систему тормозного золотника.

Основным достоинством шагового штангового транспортера с собачками является то, что штанга совершает простое прямолинейное возвратно-поступательное движение; кроме того, конструкция пневмо- или гидропривода транспортера является несложной.

Основным же недостатком шаговых штанговых транспортеров с собачками является сложность обеспечения точного перемещения обрабатываемых деталей на рабочие позиции станков.

Для перемещения изделий сравнительно небольшого веса в последнее время большое предпочтение отдают транспортерам с флажками и круглыми штангами.

Шаговые штанговые транспортеры с флажками (рис. VI-3, б) обеспечивают более точное перемещение и базирование обрабатываемых деталей на рабочих позициях линии. Точность положения деталей на рабочих позициях при перемещении их флажковыми транспортерами определяется в основном допуском зазора между флажками 1 и деталью 3. Транспортеры с флажками вследствие более точного обеспечения конечного положения деталей допускают и большую скорость перемещения.

Штанги 2 транспортеров с флажками совершают прямолинейное возвратно-поступательное движение и вращательное движение вокруг своей оси. Обрабатываемые детали перемещаются только при движении штанги вперед.

Конструктивно транспортеры с флажками гораздо сложнее, чем транспортеры с собачками, так как для штанги, кроме возвратно-поступательного движения, требуется еще и колебательное движение вокруг своей оси. Поворот штанги с флажками вокруг оси для освобождения детали производится дополнительным приводом, вследствие чего управление усложняется.

Грейферные шаговые транспортеры с флажками (рис. VI-3, в) перемещают обрабатываемую деталь 3 флажками 2. Конструкция грейферных транспортеров получается сложной, потому что штанга 1 транспортера совершает два возвратно-поступательных движения в горизонтальном и вертикальном направлениях. Транспортеры подобного вида применяют обычно в тех случаях, когда захват обрабатываемых деталей может быть произведен лишь с одной стороны, т. е. когда обрабатываемые детали установлены на рабочих позициях станков таким образом, что сначала их необходимо поднять, а затем переместить на следующие операции для дальнейшей обработки.

Цикл работы транспортера: ход вверх (подъем всех заготовок), перемещение их на один шаг вправо (по схеме), опускание на направляющие и возврат транспортера в первоначальное положение. В качестве привода такого транспортера может быть использован гидроцилиндр с применением механических устройств.

К шаговым транспортерам относятся и толкающие шаговые транспортеры (рис. VI-3, г). Эти транспортеры просты по конструкции, так как шток 2 гидроцилиндра 1 воздействует лишь на последнее

изделие 3, перемещая их вплотную друг за другом. При движении штока 2 вперед все находящиеся на транспортере обрабатываемые детали перемещаются одновременно вдоль линии благодаря взаимному давлению деталей или транспортных устройств.

Недостатком таких систем является возрастание накопленной ошибки положения каждой последующей детали, и усложнение вследствие этого фиксации на рабочих цилиндрах.

Для сквозного транспортирования деталей в автоматических линиях широко применяются цепные транспортеры (рис. VI-3, д). Цепь 1 получает возвратно-поступательное движение. Изделия 3 на

тележках 2 перемещаются с помощью собачек. Из-за невозможности обеспечения точности базирования деталей цепные транспортеры, как правило, не применяются в качестве шаговых, хотя близки к шаговым.

Важнейшей характеристикой совершенства тех или иных конструкций шаговых транспортеров является их эксплуатационная надежность, которую можно оценить с помощью диаграмм надежности, включающих оба показателя: интенсивность неполадок и трудоемкость их устранения.

При компоновке линий с жесткой связью на базе сложного технологического оборудования (многопозиционные агрегатные станки, специальные станки, роторные машины) транспортирующие механизмы существенно усложняются.

Так, уже в первых автоматических линиях ЭНИМСа для обработки валов роторов электродвигателей было применено боковое транспортирование заготовок по желобу с поперечным заталкиванием изделий при помощи перегружателей. В роторных автоматических линиях межроторная передача изделий осуществляется, как правило, посредством транспортных роторов, а также специальных переталкивателей и перегружателей.

Схема передачи заготовки в роторных автоматических линиях показана на рис. VI-4. Передача детали 1 осуществляется непосредственным выдавливанием или переталкиванием ее из паза транспортного ротора 2 в рабочий 4. Для этого имеется переталкиватель 3 с принудительным приводом 5 от кулачка 6, закрепленного на валу рабочего органа и имеющего специальный профиль, обеспечивающий перемещение рычага. Транспортный ротор может обеспечивать поворот детали в процессе транспортирования на различный угол, опускание или подъем заготовки на необходимую высоту.

Конструктивная схема транспортного ротора с клещевыми захватами приведена на рис. VI-5. Транспортные роторы, удаляя обработанную деталь из предыдущего технологического ротора линии,

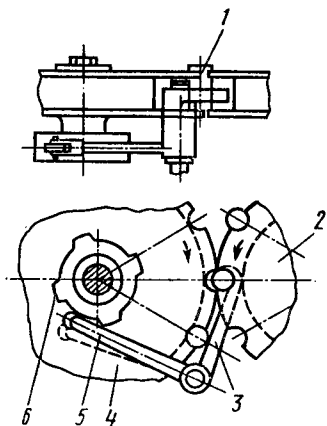


Рис. VI-4. Схема транспортирования заготовок и их передача в роторных автоматических линиях

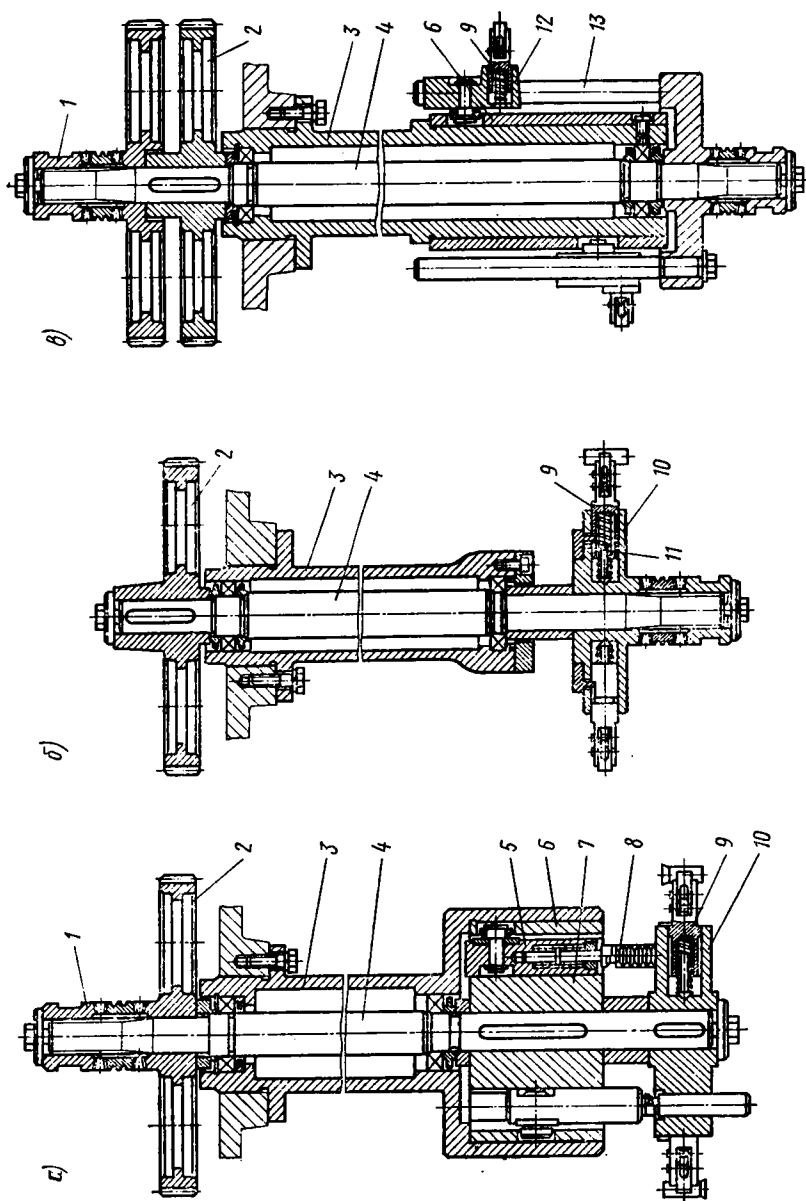


Рис. VI-5. Конструкция транспортных роторов с захватными органами, обеспечивающими различные операции:
а — поворот вокруг собственной оси; б — передача деталей в одной плоскости без поворота; в — изменение уровня присма и выдачи деталей между соседними технологическими роторами; 1 — муфта синхронизации с технологическими роторами; 2 — приподнятое зубчатое колесо вращения ротора; 3 — корпус; 4 — вал ротора; 5 — ползун; 6 — барабанный кулачок; 7 — блок ползунов; 8 — рейка; 9 — клешневой зацеп; 10 — блок клешневых захватов; 11 — диск с ограничительным выступом; 12 — корпус клешневого захвата; 13 — направляющая колонка

питают последующий технологический ротор. Кроме этой основной функции они могут изменять ориентацию объектов обработки, т. е. осуществлять поворот вокруг их оси на установленный угол, изменять уровень потока, т. е. величину подъема и опускания объектов обработки при обслуживании соседних роторных машин с различным шагом; делить или объединять поток деталей; удалять некондиционные детали по сигналам запоминающего устройства контрольно-управляющей системы; «подпитывать» поток деталями с целью поддержания его плотности на заданном уровне.

Транспортный ротор может обеспечивать непрерывное и прерывистое движение перемещаемой детали, сохраняя при этом заданный темп работы машины. В общем случае линейные и угловые шаги транспортного и технологического роторов могут быть не равны.

Использование захватных органов различного конструктивного оформления значительно расширяет диапазон применения транспортных роторов для передачи деталей сложных форм. Существующие конструкции транспортных роторов позволяют передавать объекты обработки между соседними технологическими роторами по плоской кривой второго порядка, близкой к спирали Архимеда, логарифмической или гиперболической спирали.

Особую группу составляют транспортные роторы, предназначенные для одновременной передачи собираемых элементов в технологический сборочный ротор. На валу транспортного ротора (рис. VI-6, а) устанавливается несколько дисков (по числу одновременно подаваемых элементов), в которых клещевые захваты установлены с одинаковым шагом.

В общем случае транспортный ротор состоит из основного вала с установленными на нем дисками с захватными органами. Относительные перемещения исполнительных органов транспортного ротора осуществляются от неподвижных торцовых или пазовых кулачков барабанного типа, жестко укрепленных на станине. Транспортное вращение ротора получают через систему зубчатых передач, что обеспечивает синхронное вращение технологических и транспортных роторов.

Детали внутри роторной линии могут передаваться в последующий ротор с сохранением их ориентации, полученной в предыдущем роторе; с переориентацией их положения для обеспечения рациональной обработки в последующем роторе; с потерей ориентации и последующим ее восстановлением.

В роторных линиях применяют в основном два первых вида межоперационных передач. Третий вид используется для передачи предметов обработки между участками роторных линий, когда необходимо достигнуть высокого коэффициента использования отдельных роторных линий, создать запас обрабатываемых деталей между линиями, применить более простые средства, чем передача с сохранением ориентации.

Конструкции транспортно-передающих устройств и выполняемые ими функции определяются характером технологической операции,

проводимой в роторе, формой передаваемых предметов, требованиями создания рациональной компоновки роторной линии.

Структура транспортно-передающих устройств роторных линий в общем случае представляет собой комплекс механизмов, выполняющих основные и вспомогательные функции.

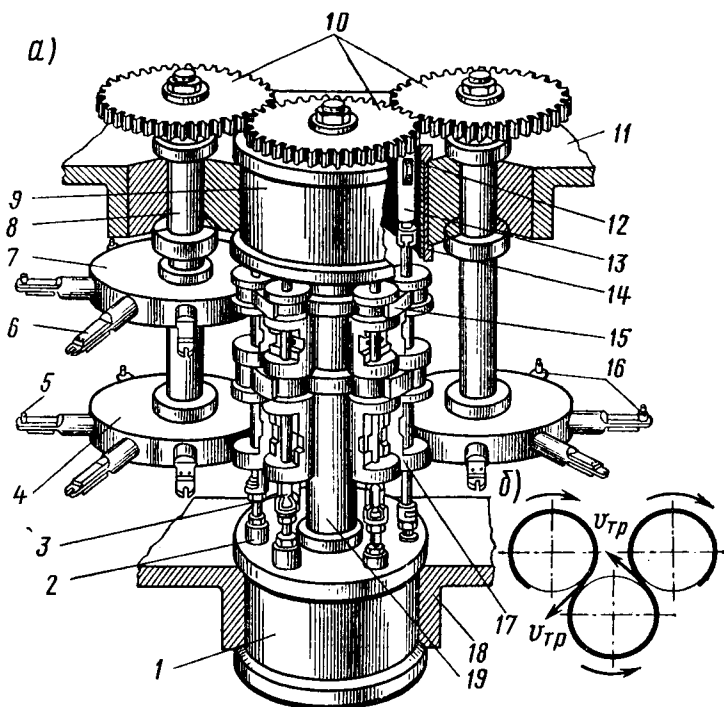


Рис. VI-6. Транспортные и загрузочные роторы автоматической роторной машины сборки деталей:

1 — блок нижней системы привода сборочного ротора; 2 — ползуны нижней системы привода; 3 — нижний шток инструментального блока; 4 — нижний диск транспортного (загрузочного) ротора; 5 — собираемые элементы; 6 — клещевые захваты; 7 — верхний диск транспортного (загрузочного) ротора; 8 — вал транспортного ротора; 9 — блок верхней системы привода сборочного ротора; 10 — зубчатая передача транспортного вращения роторов; 11 — верхняя часть станины; 12 — торцовый кулачок верхней системы привода; 13 — ползун верхней системы привода; 14 — пазовый кулачок верхней системы привода; 15 — блокираторы; 16 — собранные детали; 17 — инструментальные блоки; 18 — нижняя часть станины; 19 — основной вал сборочного ротора

Приемно-передающие механизмы бывают двух разновидностей: внецикловые (прижимы, съемники, схваты жесткие и подпружиненные, применяющиеся в простейших случаях) и цикловые (переталкиватели, аксиально-движущиеся штоки).

Механизмы прямого и обратного перемещения деталей работают в цикле технологических роторов, которые они обслуживают. Транспортные устройства, осуществляющие перемещение деталей от вы-

хода предыдущего технологического ротора на вход последующего, различаются по соотношению транспортных скоростей соседних роторов (рис. VI-6, б).

Транспортные роторы включают механизмы захвата и удержания предметов обработки, изменений ориентации деталей, изменения уровня потока продукции, удаления из потока фиксированных предметов обработки, контроля формы и положения обрабатываемых элементов, изменения шагового расположения деталей, сопровождения предметов обработки на участке передачи, подпитки потока, деления и объединения потока.

Применение автоматических линий из многопозиционных агрегатных станков, требует более сложных решений механизмов транспортирования, чем обычные шаговые транспортеры. Одним из возможных вариантов может быть создание транспортирующих систем, где межстаночное транспортирование изделий выполняется цепными транспортерами, а передача их в загрузочные позиции станков и возврат на общий транспортер — при помощи специальных автооператоров.

Конструктивная схема подобной транспортной системы приведена на рис. VI-7. Она состоит из непрерывно движущегося цепного роликового замкнутого транспортера 1 и установленных у каждого

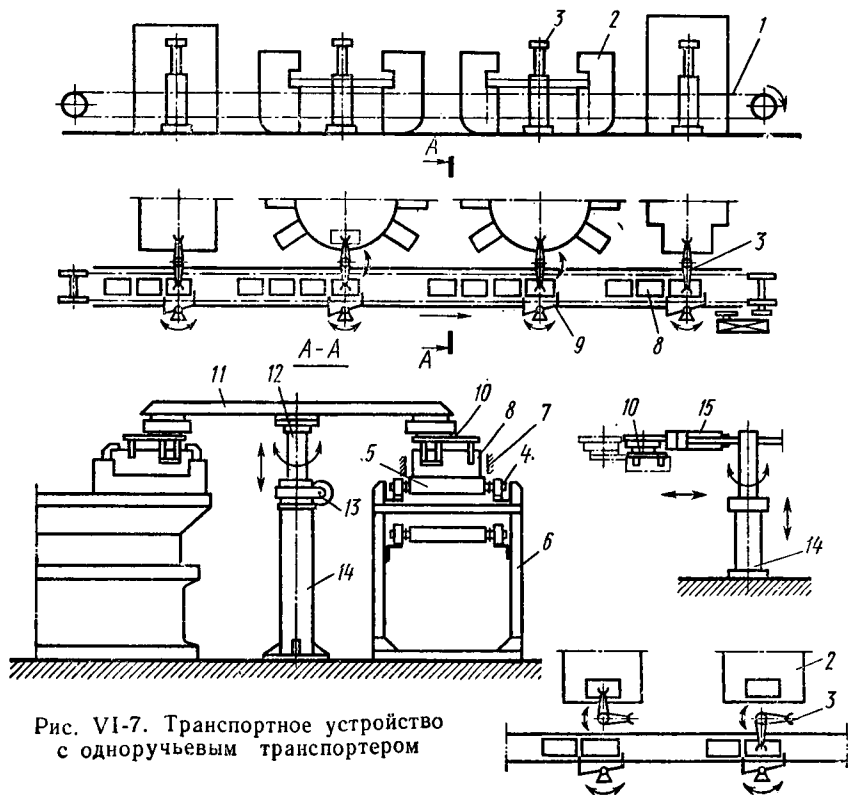


Рис. VI-7. Транспортное устройство с одноручевым транспортером

станка 2 автооператоров 3, перегружающих заготовки с транспортера на станок и обратно.

Транспортер имеет две замкнутые втулочно-роликовые цепи 4, соединенные между собой осями с роликами 5. Верхняя и нижняя ветви транспортера движутся по направляющим, укрепленным на металлоконструкции 6. Для ориентации заготовок предусмотрены неподвижные борта 7. Останов и фиксация заготовок 8 у мест перегрузки при непрерывно движущемся транспортере осуществляется выдвигными упорами 9 анкерного типа, которые пропускают на место перегрузки по одной заготовке. Если форма заготовок не позволяет пропустить между ними упор, для упора могут быть использованы выступающие части заготовки, а также отверстия в ее боковых стенках.

Автооператор 3 имеет два захвата 10 (один для заготовки, другой для обработанной на данном станке детали). Захваты могут быть цанговые или кулачковые для отверстия, клещевые для наружного контура и др.; они укреплены на балке 11, соединенной в середине с осью 12, имеющей привод поворота 13 и привод подъема (например, гидроцилиндр), установленный в неподвижной колонке 14. При опускании балки 11 заготовка захватывается с транспортера, а полуфабрикат — со станка. Затем происходит подъем, поворот и опускание балки с захватом; при этом новая заготовка попадает на станок, а полуфабрикат — на транспортер для подачи к станку следующей операции. Освободившееся на транспортере место после перехода полуфабриката на следующий операционный участок занимает следующая заготовка, пропущенная упорами 9. Если заготовку нельзя подать непосредственно в рабочую зону станка путем поворота стрелы автооператора с захватом, захваты укрепляют подвижно на поворотной стреле. После поворота в сторону захват 10, укрепленный на подвижной части стрелы автооператора, подается в рабочую зону станка с помощью приводного устройства, например пневмо- или гидроцилиндра 15.

При обслуживании станков с одной загрузочно-разгрузочной позицией, чтобы сократить время перегрузки станка (уменьшить путь поворота), автооператор выполняют с двумя поворачивающимися вокруг вертикальной оси захватами (один для заготовки, другой для полуфабриката), расположенными под углом 90° один относительно другого.

Существующие конструкции перегружателей разнообразны по своему исполнению. Рассмотрим работу перегружателя на линии обработки зубчатых колес.

Автоматический перегружатель для зубчатых колес (рис. VI-8) предназначен для передачи деталей с транспортера в рабочую зону автомата и после их обработки обратно на транспортер. Деталь 2 подается продольным транспортером 1 и подхватывается лапами перегружателя 3, который, поднимаясь вверх, подводит деталь к рабочей зоне автомата. Затем столик опускается, устанавливая деталь на поддерживающие штыри (на рисунке не показаны), происходит зажим, и столик перегружателя уходит из рабочей зоны. После окончания обработки деталь разжимается. Стол перегружателя входит в рабочую

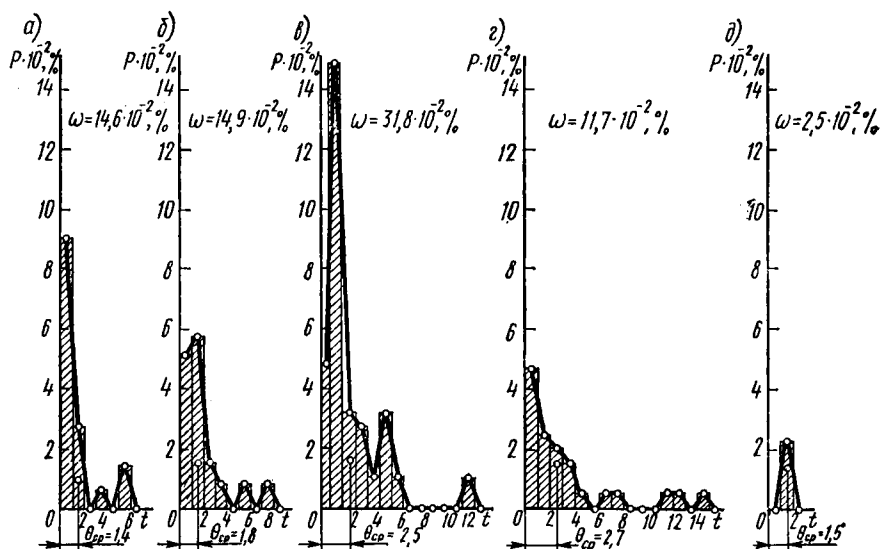


Рис. VI-10. Диаграмма сравнительной надежности шаговых транспортеров линий из агрегатных станков:

а — линия «Блок-2»; б — линия головки блока; в — линия картера сцепления; г — линия картера коробки переменных передач; д — линия поворотного кулака

занимают меньшую площадь, так как для выполнения одного и того же количества технологических операций требуется меньшее количество сложных станков.

Рассмотрим анализ конструкций и сравнительной надежности механизмов шаговых транспортеров автоматических линий.

Отечественные линии «Блок-2», головки блока 1Л75 и картера коробки скоростей 1Л85 конструкции МСКБ АЛ и АС имеют идентичную конструкцию: транспортер с подпружиненными нерегулируемыми собачками и гидравлическим приводом, работающий до жесткого упора (рис. VI-9). В конце хода производится торможение с помощью путевого дросселя для уменьшения отскока транспортируемых изделий от собачек.

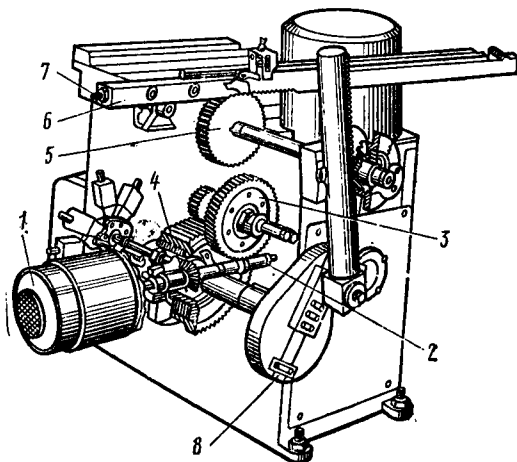


Рис. VI-11. Конструктивная схема привода шагового транспортера фирмы «Рено»:

1 — электродвигатель; 2 — промежуточный вал; 3 — червячное колесо; 4 — предохранительная фрикционная муфта; 5 — реечное колесо; 6 — рейка на штанге транспортера; 7 — винт регулирования места хода транспортера; 8 — винт регулирования величины хода транспортера

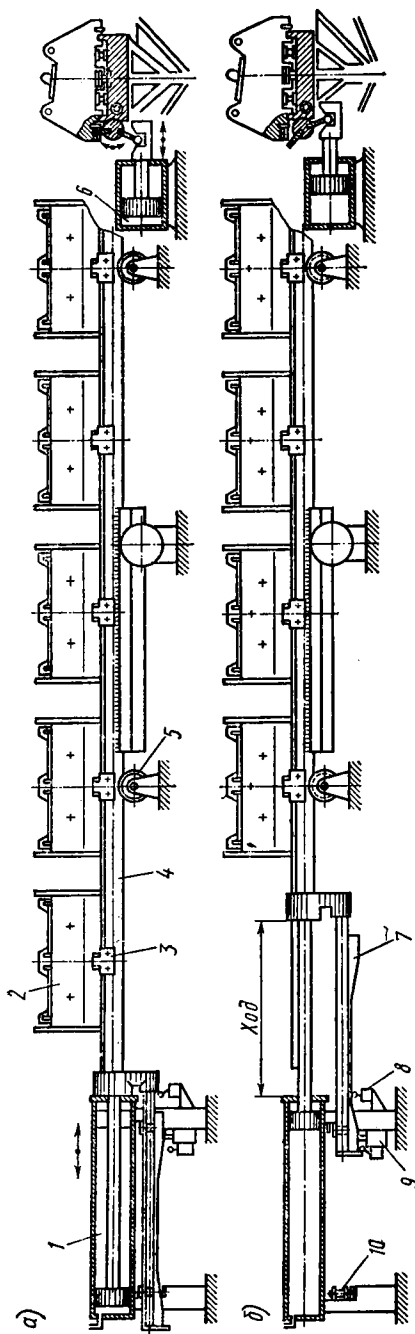


Рис. VI-12. Схема шагового флажкового транспортера фирмы «Геллер»:

1 — гидродоцилиндр; 2 — спутник с закрепленной на нем деталью; 3 — флажок транспортера; 4 — штанга транспортера; 5 — поддерживающий ролик; 6 — гидродоцилиндр; 7 — путевой кулачок; 8 — конечный выключатель, контролирующий крайнее положение штанги; 9 — положение штанги; 10 — поддерживающий ролик

Диаграмма показывает (рис. VI-10), что безотказность всех трех конструкций находится приблизительно на одинаковом уровне. Увеличение средней длительности единого простоя на линии картера коробки скоростей объясняется большей протяженностью линии и затруднением доступа к приводной станции, которая расположена за фрезерным станком.

В линии картера сцепления (фирмы «Рено») сделана попытка решить задачу замедления скорости транспортера в конце хода за счет применения механического кулисного привода без жесткого упора (рис. VI-11). Это позволяет сократить до минимума отскок изделий от собачек в конце хода транспортера. Собачки сделаны регулируемыми, что позволяет снизить требования к точности монтажа рабочих позиций, но это увеличивает число наладочных мест.

В результате по сравнению с отечественными линиями наработка на отказ почти в два раза меньше, а среднее время простоя для устранения отказов значительно выше. При этом если регулировка вылета собачек транспортера занимает 1,5–2 мин, то регулировка привода приводит всегда к длительным простоям (5–10 мин и более).

Кулисный механизм

привода имеет сложную конструкцию и не имеет жесткого упора, фиксирующего штангу в переднем положении. В результате износа в сопряжениях приводных механизмов наблюдается большая неустойчивость переднего положения штанги, а следовательно, и собачек, с диапазоном разброса до 3 мм. Это приводит не только к частым регулировкам транспортера, но и к отказам в выполнении операций фиксации спутников на рабочих позициях.

Несколько по-иному решена задача обеспечения надежности и малой длительности транспортирования в линии поворотного кулака, где применяется транспортер флажкового типа с продольным движением и поворотом штанги (рис. VI-12). Транспортер скомпонован не под линией, а сбоку, что облегчает доступ. Гнезда для флажков выполнены точно. Стабильность крайних положений штанги транспортера обеспечивается жесткими упорами и торможением в конце хода. Бокое расположение штанги уменьшает вероятность засорения стружкой. В результате, несмотря на усложненный привод, шаговый транспортер линии поворотного кулака имеет высокую надежность в работе и по уровню безотказности удовлетворяет не только текущим, но и перспективным требованиям.

§ 3. МЕХАНИЗМЫ ЗАЖИМА И ФИКСАЦИИ

Обрабатываемая деталь на автоматической линии в каждой позиции должна быть точно установлена, зафиксирована и зажата (определенным усилием). Это дает возможность обеспечить наиболее точную обработку в заданной позиции.

Компоновка линии, решение ее участков и рабочих агрегатов в большой степени зависят от условий работы приспособлений для зажима и фиксации. От качества работы приспособлений зависит надежность и эффективность линии в эксплуатации. Принцип работы и конструкция механизмов зажима и фиксации зависит от формы и размеров обрабатываемой детали.

Корпусные детали, неподвижные во время обработки, если их форма такова, что деталь может быть на каждой позиции зафиксирована и зажата, перемещаются по транспортеру свободно на плоскостях и закрепляются в местах обработки стационарными приспособлениями.

Детали сложной формы, не имеющие обработанной базовой поверхности, которые трудно автоматически фиксировать и закреплять на позициях обработки (например, корпуса вентиля), устанавливаются в начале обработки в спутники, на которых закрепляются и проходят всю зону обработки от загрузки до выгрузки. Спутники имеют плоскости скольжения и опорные базы для закрепления в позициях обработки. Они перемещаются вдоль линии и на каждой позиции фиксируются и закрепляются. При обработке крупных деталей с выступами считается целесообразным связывать кондукторные плиты со спутниками.

Механизмы зажима и фиксации обрабатываемых деталей на автоматических линиях выполняются двух типов: стационарные и приспособления-спутники.

Хотя приспособления-спутники для зажима и фиксации деталей в автоматических линиях аналогичны по целевому назначению станочным приспособлениям неавтоматизированного производства, они существенно отличаются от последних. Так, если в станочных приспособлениях установка заготовки осуществляется вручную и поэтому можно производить любые сложные перемещения при ее установке и закреплении, то в автоматической линии все манипуляции при уста-

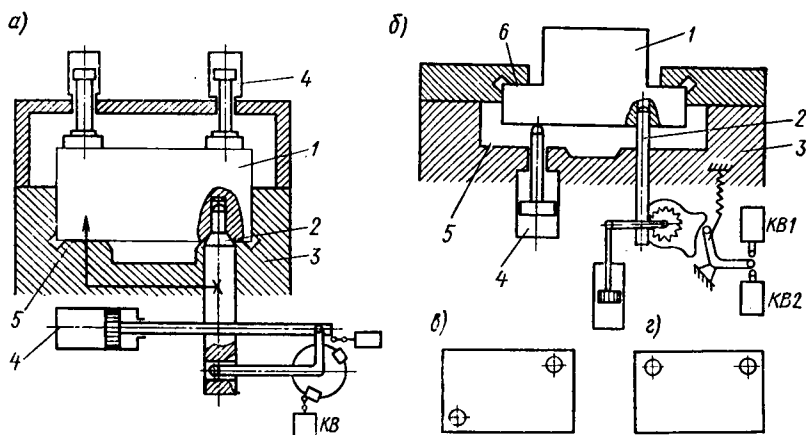


Рис. VI-13 Типовые схемы фиксации и зажима деталей на автоматических линиях:

а — с поджимом спутника вниз; б — с поджимом спутника вверх; в — первая схема фиксации; г — вторая схема фиксации; 1 — обрабатываемая деталь; 2 — фиксатор; 3 — приспособление; 4 — цилиндр; 5 — опорная поверхность; 6 — верхняя опорная направляющая; KB1, KB2 — конечные выключатели

новке, фиксации и зажиме осуществляются путем простых пространственных перемещений. Поэтому установочные элементы приспособлений-спутников иногда делают неподвижными, что связано с введением дополнительных передач, а следовательно, снижением коэффициента использования линии.

Число фиксаторов в приспособлении-спутнике принимается минимальным (один-два), их установочные поверхности находятся в одной плоскости, ввод и вывод фиксаторов осуществляется простым движением.

На рис. VI-13 представлены механизмы закрепления обрабатываемой детали на автоматической линии. Обычно заготовка подается в приспособление шаговым транспортером и зажимается специальным устройством, работа которого осуществляется на механической, гидравлической или пневматической основе, что обеспечивает достаточное усилие зажима во избежание больших деформаций в обрабатываемых деталях. Привод установочных, фиксирующих и зажимных

элементов конструктивно выполняется общим или раздельным с учетом того, что последовательные перемещения установочных, фиксирующих и зажимных элементов происходят плавно, предотвращая возможные смещения и деформации заготовки.

Необходимым условием надежной работы является наличие контроля правильной фиксации и достаточного усилия зажима, осуществляемого автоматически. Постоянство усилия зажима в течение всего периода обработки достигается путем применения активного зажима, при котором усилие гидро- или пневмопривода поддерживается постоянным.

На рис. VI-13 представлены две схемы фиксации, осуществляемые двумя пальцами. По первой схеме (рис. VI-13, в) фиксация заготовки происходит более точно, чем по второй (рис. VI-13, г). Однако вторая схема имеет то преимущество, что в ней проще система передающих рычагов; происходит меньше отказов в работе; обеспечивается лучший доступ к рабочему месту; возникшие неисправности легко устранимы.

Деталь (рис. VI-13, а) прижимается к поверхностям 5, по которым она и скользит. С течением времени эти поверхности истираются и деталь с приспособлением-спутником опускается, что приводит к длительному простоя, так как неисправность можно устранить либо путем поднятия опорных поверхностей, либо путем опускания агрегатных головок.

На рис. VI-13, б представлена схема, не имеющая этого опускания. Деталь установлена в приспособлении-спутнике, который движется по направляющим 5, а прижимается во время обработки к верхним опорным пластинкам по направляющей плоскости 6. В этом случае усилие зажима не передается через всю деталь, которая при зажиме не деформируется. Кроме того, открыт свободный доступ к детали.

Таким образом, узлы зажима и фиксации деталей в автоматических линиях включают широкий круг различных механизмов от обычного зажима до сложных приспособлений-спутников.

В большинстве автоматических линий из агрегатных станков фиксация детали или спутника с закрепленной на нем обрабатываемой деталью производится введением двух фиксаторов в базовые отверстия детали или спутника. Однако привод механизмов зажима, фиксации и управления может происходить по-разному, что и определяет многовариантность решения одной и той же задачи, различные конструкции механизмов зажима и фиксации.

На рис. VI-14 показан общий вид приспособления линии «Блок-2» с механизмами зажима и фиксации. Фиксация и зажим обрабатываемых деталей производятся от единого цилиндра 1, шток которого 2 шарнирно соединен с рейкой 3. Рейка находится в зацеплении с валом шестерней 5, на которой закреплен кулачок 4. При повороте вала кулачок поворачивает рычаг 7 и тем самым деталь зажимается зажимными шрифтами самоустанавливающейся колодки 6. Привод перемещения фиксаторов производится от того же вала 5 через рычажную систему 9, 10, 11 и ось 8, которая перемещает фиксатор 12. При ходе поршня

2 вниз сначала происходит фиксация, затем — зажим, что достигается установкой кулачка 4 на валу 5.

Существуют конструкции, в которых зажим и фиксация производятся от отдельных цилиндров. Эта система нашла преимущественное применение в отечественных линиях.

Схема механизма зажима и фиксации линии картера сцепления показана на рис VI-15. Как и по схеме рис. VI-14, фиксация производится введением фиксаторов в базовые отверстия. Зажим осуществ-

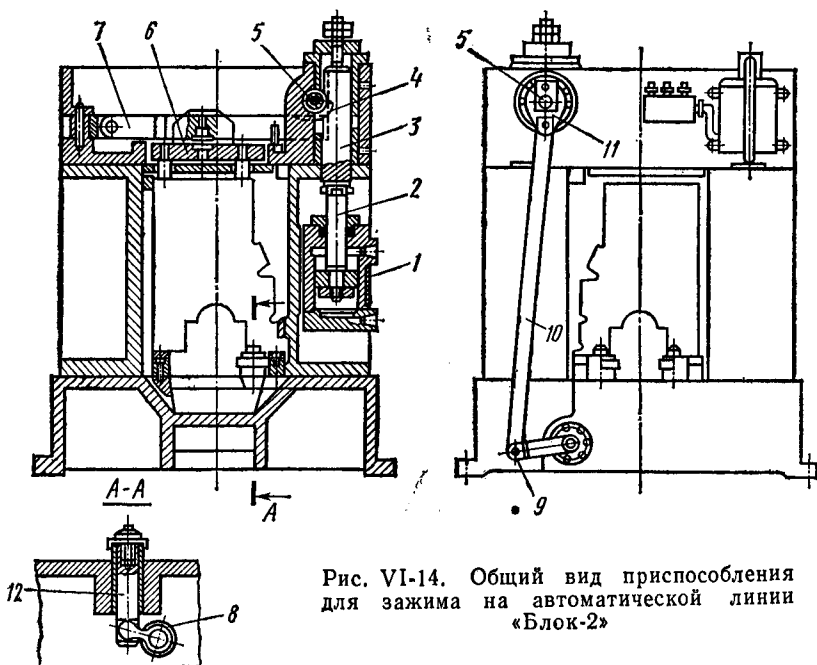


Рис. VI-14. Общий вид приспособления для зажима на автоматической линии «Блок-2»

вляется прижимом спутников к верхним направляющим салазкам. Сжатый воздух из сети через компенсирующие резервуары и масляную очистку поступает в пневмосистему линии и распределяется по агрегатам, каждый из которых имеет свой привод механизмов зажима и фиксации на двух рабочих позициях. По команде об окончании транспортером хода вперед замыкается цепь питания управляющего золотника, что позволяет сжатому воздуху пройти левую полость золотника 4 и переместить его вправо. Скорость этого перемещения регулируется дросселем, установленным в правой полости золотника. Сжатый воздух через золотник проходит в цилиндр фиксатора — фиксаторы вводятся в базовые отверстия спутников и в конце хода нажимают на конечные выключатели 7 и 8, которые сигнализируют о выполнении команды «фиксация» на данной рабочей позиции. Как только поступают сигналы от всех конечных выключателей, следует команда на зажим, включается цепь питания электромагнита управ-

ляющего золотника 15 и сжатый воздух из сети поступает в правую полость золотника 15, открывая доступ воздуху в цилиндр пневмогидравлического преобразователя. Из-за разницы в площадях давление в цилиндрах поднимается до значительной величины (манометры, включенные в гидросистему, проградуированы до $60,0 \text{ мН/м}^2$) и масло по трубопроводу поступает в цилиндры зажима, штоки которых, как домкраты, поднимают спутник с закрепленной деталью к верхним направляющим планкам. Выполнение зажима контролируется реле давления, которым нажимают на конечные выключатели. Разжим и вывод фиксаторов происходит одновременно. Ход фиксаторов — около 30 мм, зажимных штоков — 2 мм.

Общим недостатком механизмов зажима и фиксации, показанных на рис. VI-14 и VI-15, является большое количество элементов привода и управления, подверженных отказам (приводные гидро- и пневмоцилиндры, золотники, конечные выключатели, соленоиды и т.д.). Одно из конструктивных направлений повышения надежности заключается в максимальном упрощении конструкции и прежде всего в сокращении числа звеньев малой надежности.

Проведенные исследования работы автоматических линий из агрегатных станков показывают, что операции зажима и фиксации принадлежат к тем элементам рабочего цикла, при выполнении которых наиболее часто возникают отказы.

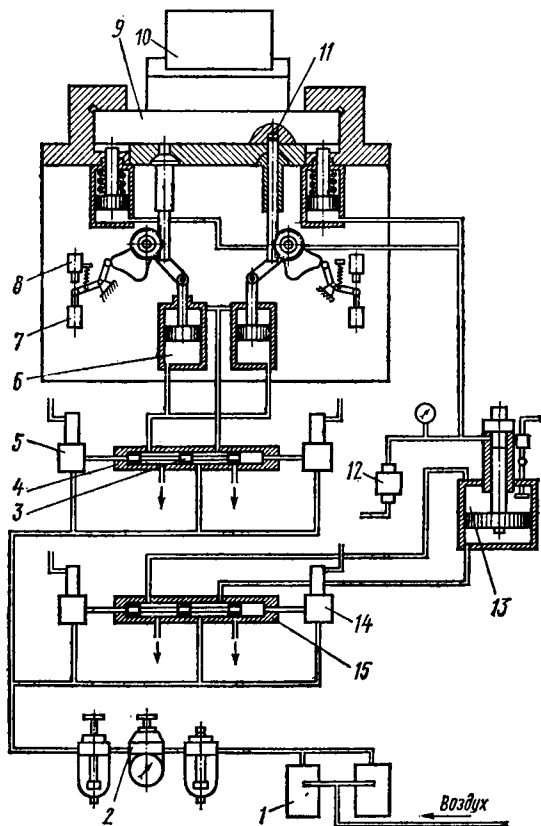


Рис. VI-15. Схема механизма зажима и фиксации фирмы «Рено»:

1 — демфер; 2 — масляный фильтр с отстойником; 3 — поршень; 4 — управляющий золотник фиксации; 5 — вспомогательный золотник; 6 — пневмоцилиндр фиксации; 7 — конечный выключатель «Спутник зафиксирован»; 8 — конечный выключатель «Спутник расфиксирован»; 9 — спутник; 10 — обрабатываемая деталь; 11 — фиксатор; 12 — реле давления зажима; 13 — пневмогидравлический преобразователь; 14 — вспомогательный золотник; 15 — управляющий золотник зажима

Различия в условиях эксплуатации в конструкции, технологии изготовления и сборки обуславливают и различный уровень надежности в работе описанных выше конструкций механизмов зажима и фиксации, о чем свидетельствует диаграмма их сравнительной надежности (рис. VI-16). Подавляющее большинство отказов всех механизмов выражается в том, что деталь не фиксируется в рабочей позиции — фиксаторы не входят в отверстия. Это происходит при несоосности, которая может явиться следствием неустойчивости хода

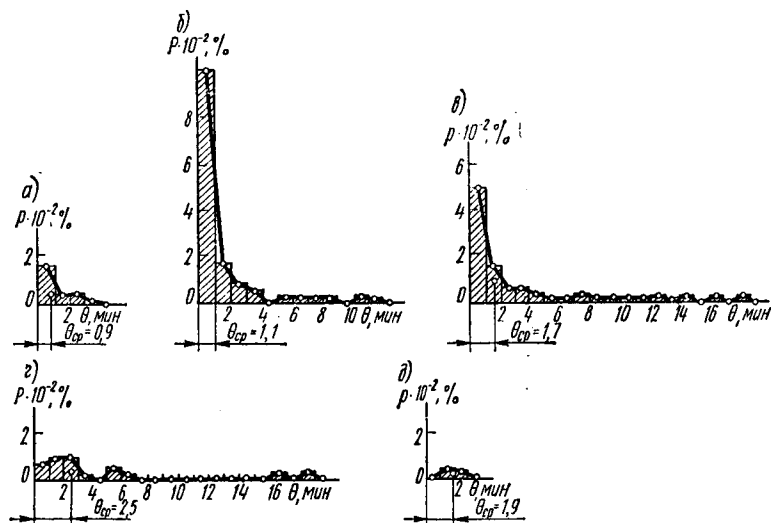


Рис. VI-16. Диаграмма сравнительной надежности механизмов зажима и фиксации исследованных автоматических линий:

а — «Блок-2»; б — линия головки блока; в — линия картера сцепления; г — линия картера коробки перемены передач; д — линия поворотного кулака; ω — параметр потока отказов одного механизма; θ_{cp} — среднее время обнаружения и устранения отказов

транспортера, перекоса детали, неточной обработки базовых отверстий, а также при попадании стружки, падении давления в приводных цилиндрах фиксации и т. д.

Важнейшим условием надежной фиксации является совпадение осей базовых отверстий детали и фиксирующих штырей в конце хода после останова транспортера. Покажем, что это условие не может быть выполнено с абсолютной надежностью. Предположим, что в конце хода транспортер, который движется со скоростью v_0 , встречает жесткий упор и останавливается. Во время движения, когда собачка толкает деталь, соблюдается известное соотношение вида:

$$P - F = m \cdot a,$$

где P — движущая сила (реакция между собачкой и деталью); F — сила трения между деталью и направляющей; m — масса транспортирующей детали или спутника; a — ускорение детали.

При перемещении транспортера с равномерной скоростью $P = F$, $ma = 0$, и деталь движется под действием собачки равномерно. Однако в момент останова транспортера движущая сила исчезает ($P = 0$), следовательно,

$$-F = ma, \quad mg\mu = ma, \quad a = g\mu,$$

где μ — коэффициент трения; g — ускорение силы тяжести.

Здесь деталь, имеющая первоначальную скорость v_0 , тормозится под действием силы трения с ускорением $-g\mu$. Однако при любом значении $v_0 > 0$ имеется отскок детали от собачки, дополнительное ее проскальзывание после останова транспортера на величину x , при этом $(d^2x) / (dt^2) = a$.

Величину x можно определить двукратным интегрированием уравнения $P - F = ma$. Выполнив все преобразования и определив постоянные из условия: при $t = 0$ (момент останова транспортера) $(dx) / (dt) = v_0$; $x = 0$, получим:

$$x = v_0^2 / (2g\mu).$$

Если бы величины v_0 и μ , определяющие величину отскока от собачки, были строго постоянными в процессе работы линии, отскок был бы стабильным и можно было отрегулировать механизм так, чтобы в конечном положении детали оси базовых отверстий совмещались с осями фиксаторов. Однако как скорость, так и коэффициент трения находятся в некотором диапазоне. Колебание скорости транспортера обусловлено различной температурой и вязкостью масла в процессе работы, переменными условиями сопротивления и т. п. Величина коэффициентов трения деталей о направляющие также зависит от множества случайных факторов, например попадания стружки или масла.

В результате положение осей базовых отверстий является случайным и распределяется по нормальному закону в некотором диапазоне

$$\Delta x = \frac{1}{2g} \left(\frac{v_{0 \max}^2}{\mu_{\min}} - \frac{v_{0 \min}^2}{\mu_{\max}} \right).$$

Так, например, при значениях $v_0 = 8-10$ м/мин и коэффициентах трения $\mu = 0,1 \div 0,25$ разность положения осей Δx согласно формуле составляет почти 10 мм. К этому нужно добавить нестабильность переднего положения транспортера из-за деформаций жесткого упора, погрешности обработки базовых отверстий, погрешности расстояния между базовыми отверстиями и ведущей плоскостью детали, которая контактируется с собачками, и т. д. В результате этого возможный разброс положений осей отверстий относительно осей фиксаторов еще более увеличивается (рис. VI-17).

Таким образом, в самом характере работы шагового транспортера заложены причины периодических отказов механизмов фиксации. Для сокращения отказов механизма фиксации необходимо уменьшить скорость транспортера v_0 . Поэтому с точки зрения производи-

тельности автоматической линии (сокращения холостых ходов) необходимо увеличивать скорость транспортера, а с точки зрения надежности — уменьшать ее. Это противоречие решается тем, что скорость делается переменной с замедлением в конце хода, что достигается применением либо механического кулисного привода (см. рис. VI-11), либо гидравлического с путевым дросселем (см. рис. VI-9).

Кроме того, конец фиксатора выполняется коническим, базовые отверстия также имеют фаски. В результате фиксация осуществляется, если даже оси базовых отверстий не совмещаются точно с осью

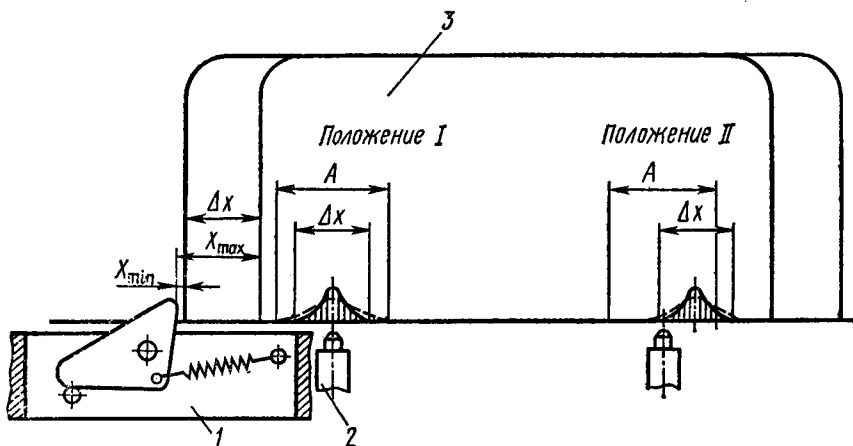


Рис VI-17. Схема к расчету отскока заготовок от собачки транспортера:
1 — шаговый транспортер с собачками; 2 — фиксатор; 3 — заготовка

ми фиксаторов (что в общем случае никогда и не бывает), а располагаются в некоторой зоне A. При ходе фиксаторов вверх деталь сдвигается с помощью конусов в соосное положение, после чего фиксаторы входят в базовые отверстия. Если средний уровень настройки положения базовых отверстий совпадает с осью фиксатора, то при этом фиксация выполняется надежно (рис. VI-17) — положение I. Однако последнее условие практически не выполнимо из-за ошибки расположения осей рабочих позиций, неравномерности шага собачек, поэтому существует вероятность того, что положение оси базового отверстия окажется вне зоны A (рис. VI-17) — положение II — и тогда произойдет отказ. Деталь не будет зафиксирована в рабочей позиции, так как фиксатор не может войти в отверстие, конечный выключатель не будет нажат и цикл линии задержится.

Причиной отказов механизмов фиксации в данном случае является неблагоприятное сочетание случайных значений таких параметров, как скорость транспортера, коэффициенты трения, точность обработки базовых отверстий и боковых поверхностей и т. д. К этому необходимо добавить несрабатывание конечных выключателей,

когда сигнал о выполнении фиксации не подается даже при нормальном срабатывании механизма.

Таким образом, конструкция транспортера оказывает существенное влияние на надежность механизмов зажима и фиксации. Анализируя надежность механизмов зажима и фиксации (см. рис. VI-16), можно заметить явно недостаточную надежность механизмов на линиях головки блока АЗЛК и картера сцепления. На линии головки блока надежность уменьшается из-за засорения стружкой штанги транспортера и собачек, в результате чего собачки при обратном ходе транспортера утапливаются и заклиниваются. При ходе транспортера вперед деталь не захватывается собачкой и перемещается вперед только следующей деталью, т. е. на достаточную величину, и происходит вторичный отказ.

Причины ненадежной работы механизмов зажима и фиксации на линии картера сцепления более сложны и многообразны. Транспортер линии не имеет жесткого упора, и следовательно, не может обеспечить высокой стабильности подачи спутников с заготовками на рабочие позиции (разброс до 3 мм). Индивидуальная регулировка собачек здесь не может решить проблемы. Отрицательное влияние на надежность оказывает и постоянное загрязнение фиксирующих штырей (которые являются и штоками цилиндров) пылью, мелкой стружкой. Это приводит, с одной стороны, к возрастанию сил фиксации, а с другой—к быстрому износу уплотнений, утечкам воздуха из цилиндров и падению рабочих сил; из-за этого приходится останавливать линию, разбирать и прочищать цилиндры.

Одной из важнейших причин отказов механизмов зажима и фиксации, как отмечалось раньше, является нестабильность хода транспортера, которая в сочетании с недостаточной точностью изготовления спутников, нестабильностью положения собачек приводит к значительному несовпадению осей фиксаторов с осями базовых отверстий спутника.

Кроме этих вторичных, зависимых, отказов существует целый ряд отказов, вызванных внутренними причинами. К их числу относятся отказы из-за контактной аппаратуры. Правильность выполнения перемещений контролируется на каждом агрегате четырьмя конечными выключателями, доступ к которым затруднен, так как для предохранения от пыли и грязи они прикрыты сверху щитками. Так как устранить большинство отказов можно нажатием рукой на конечные выключатели, то щитки после многократного отвинчивания оказываются повсюду утерянными. В результате через три года среднее время единичного простоя сокращается почти вдвое, а частота отказов почти не уменьшается, хотя за несколько лет работы линия хорошо изучается.

Так как фиксаторы расположены под линией, то на штоки постоянно оседает пыль и мелкая стружка, которая в процессе работы быстро изнашивает уплотнения, вызывая повышенную утечку воздуха из пневмоцилиндров. В результате сила на штоке оказывается недостаточной, чтобы сдвинуть спутник в соосное положение, поэтому происходят отказы. Затяжка уплотнения приводит к повышенному

износу, а при особо сильной затяжке сопротивление возрастает настолько, что фиксаторы не могут войти в базовые отверстия. Для устранения этого приходится регулярно проводить профилактические осмотры на линии с разборкой и очисткой пневмоцилиндров.

Частые простои из-за неполадок механизмов зажима и фиксации линии головки блока требуют искать пути сокращения потерь за счет уменьшения продолжительности каждого простоя. На линии смонтирована простейшая система сигнализации — электрическое табло, на котором при фиксации на каждой позиции зажигается соответствующая лампочка. Это позволяет резко сократить потери на отыскание причины и места неполадок, в результате средняя продолжительность единичного простоя на линии почти равна той, которая достигнута на самой освоенной линии — линии блока (см. рис. VI-16). Более 75% всех простоев кратковременные — до 1 мин и только в тех случаях, когда приходится очищать собачки от заклинивания стружки, простои затягиваются надолго — до 10—12 мин.

На линии картера коробки передач надежность механизмов зажима и фиксации достаточно высока, однако время простоев слишком велико — в четыре раза больше, чем на линии блока. Это объясняется прежде всего отсутствием на линии надежной системы сигнализации. Если не срабатывает механизм фиксации на какой-либо позиции, наладчик не сразу определяет наличие неполадки и задержки цикла, так как шпиндели продолжают вращаться и нет никаких внешних признаков отказа механизма.

Как только на линии что-то не срабатывает, причину и место неполадок устанавливают осмотром линии, однако при неполадках механизмов зажима и фиксации это сделать невозможно. Поворотом

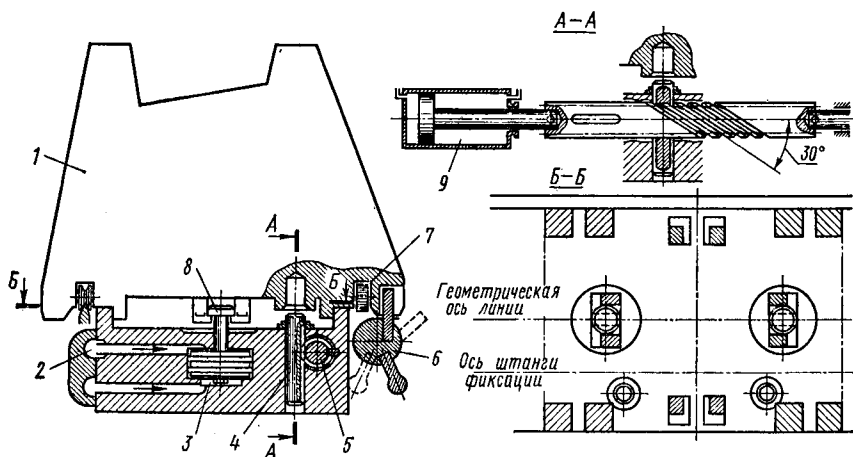


Рис. VI-18. Схема механизма фиксации и зажима линии поворотного кулака: 1 — спутник с обрабатываемыми деталями; 2 — каналы подвода жидкости; 3 — гидроцилиндр зажима спутника; 4 — фиксатор; 5 — штанга привода фиксатора с рейкой; 6 — штанга флажкового штангового транспортера с возвратно-поступательным движением и поворотом; 7 — опорные катки спутника; 8 — зажимной грибок; 9 — гидроцилиндр привода штанги фиксатора

рукоятки у пульта отыскания неполадок определяют, какой аппарат не срабатывает. После того как номер конечного выключателя установлен (он не дал сигнала, так как ход цилиндра не выполнен или вследствие собственной ненадежности), деталь постукиванием сдвигается на нужное место. Несовершенство такой системы отыскания неполадок очевидно и для других механизмов, но особенно ярко оно проявляется для механизмов фиксации. Только на линии «Блок-2» обычно безошибочно определяют место неполадок и без всяких вспомогательных средств.

Наиболее высокий уровень надежности механизмов зажима и фиксации достигнут на линии поворотного кулака, где предусмотрен целый ряд конструктивных мер повышения надежности (рис. VI-18); флажковый шаговый транспортер обеспечивает подачу спутников на рабочие позиции с точностью до 0,1 мм, что практически исключает несоосность между фиксаторами и базовыми отверстиями спутников. На линии имеется единая штанга, которая приводит в действие все фиксаторы от единого гидроцилиндра, тем самым сводятся к минимуму собственные простои механизмов из-за гидро- и электроаппаратуры. В результате интенсивность отказов механизмов зажима и фиксации на линии поворотного кулака в двенадцать раз ниже, чем на линии картера сцепления, и в пять раз ниже, чем на линии «Блок-2».

§ 4. МЕХАНИЗМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ

Заготовка, обрабатываемая на автоматической линии, часто требует изменения ориентации с целью обеспечения требований технологического процесса. При изменении ориентации заготовка может

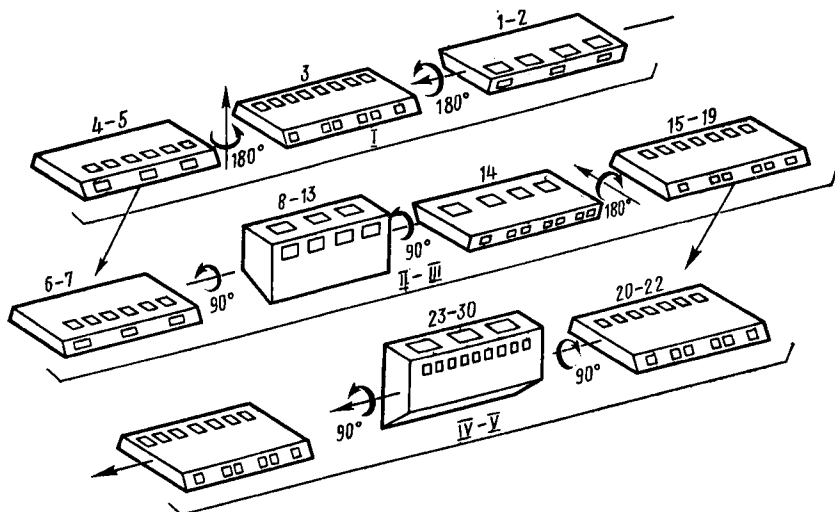


Рис. VI-19. Схема последовательного изменения базирования головки блока ЗИЛ-130 при обработке ее на автоматической линии 1Л-83:
I-V — номера участков линии; 1-30 — номера станков

приподниматься, поворачиваться, смещаться и устанавливаться в новое положение. Целевые механизмы, обеспечивающие переориентацию обрабатываемой заготовки в процессе ее транспортирования

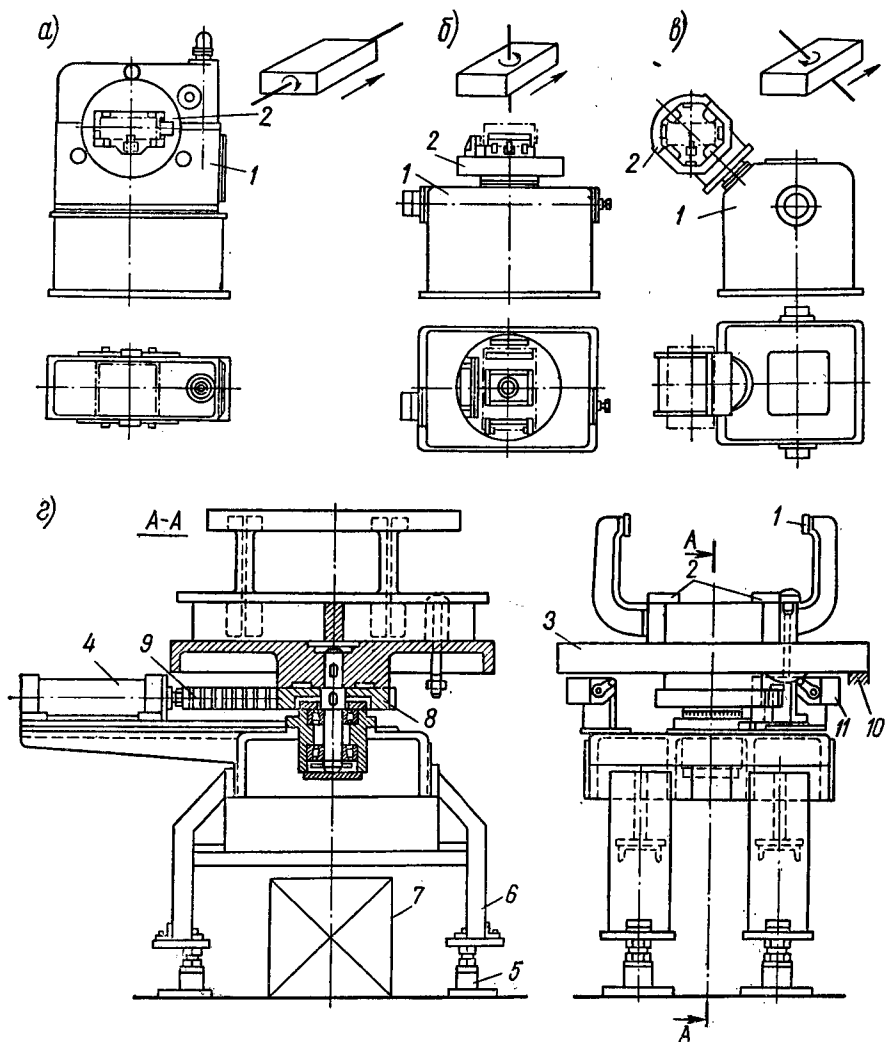


Рис. VI-20, Схемы механизмов поворотных устройств:

а — для поворота в вертикальной плоскости; б — для поворота в горизонтальной плоскости; в — для поворота детали под углом; г — поворотный стол

от одной позиции к другой, называются механизмами изменения ориентации.

На рис. VI-19 показаны различные положения головки блока ЗИЛ-130 при ее обработке на автоматической линии 1Л-83. Для обеспечения этих различных положений и служат механизмы изменения

ориентации, расположенные между технологическими участками линии. Наиболее просто изменение ориентации осуществляется механизмами поворота, подъема и смещения обрабатываемых деталей. В качестве механизмов ориентации в линиях с жесткой связью для неподвижных деталей при обработке применяют поворотные столы, накрывающие ключи, кантователи и т. д.

На рис. VI-20 приведены схемы механизмов поворотных устройств. Для поворота деталей в горизонтальной плоскости применяются либо поворотные столы, либо поворотные ключи-колокола. Поворотные столы применяются в тех случаях, когда участки линии до и после поворота имеют независимые транспортеры рабочей трассы. Такие столы выполняются как типовые, пригодные для разнообразных автоматических линий.

На рис. VI-20, а представлен нормализованный поворотный стол с гидроприводом для поворота. Деталь устанавливается на опорных планках 2 и направляющих 1. Поворотная платформа 3 через колесо 8 и рейку 9 поворачивается от гидроцилиндра 4. Высота стола регули-

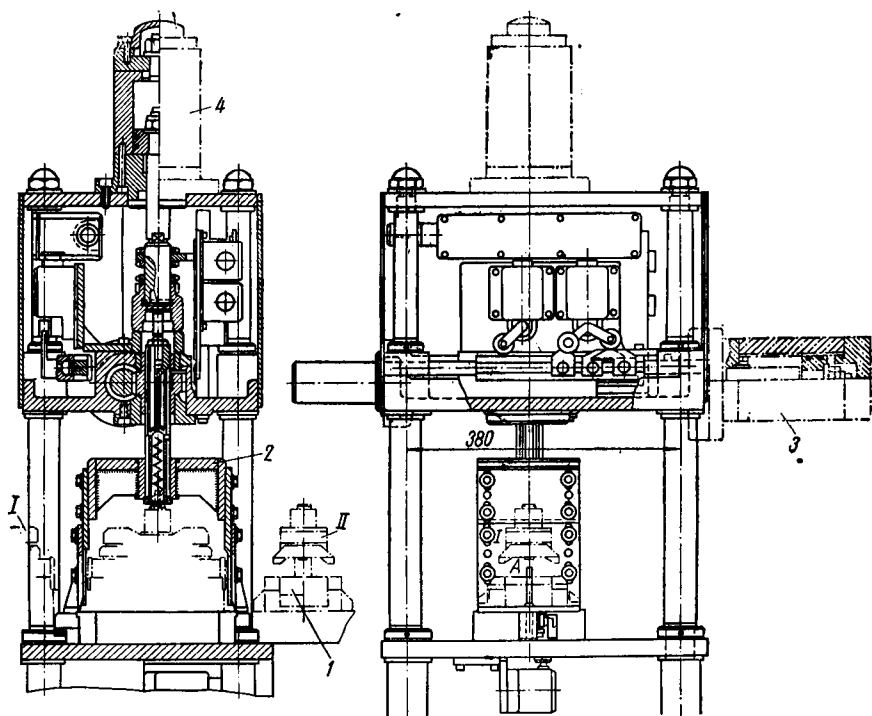


Рис. VI-21. Поворотный накрывающий ключ:

1 — приспособление-спутник (I — в положении до поворота; II — в положении после поворота); 2 — ключ-колокол поворота; 3 — гидроцилиндр поворота ключа; 4 — гидроцилиндр подъема ключа

руется при помощи домкрата 5 на арочной станине 6. Поворот стола управляется кулачком 10 и конечным выключателем 11. Конвейер 7 служит для удаления стружки.

Поворотные направляющие ключи-колокола используются в линиях, где участки до и после поворота имеют один общий транспортер. Подобное устройство в виде накрывающего ключа-колокола, примененное в автоматической линии по обработке корпусов вентиля для поворота на 90° приспособлений-спутников, показано на рис. VI-21.

Приспособление-спутник 1 с деталью из положения I поворачивается в положение II при помощи ключа-колокола 2, действующего от гидроцилиндра поворота 3 и гидроцилиндра подъема 4. Ключ-колокол управляется кулачками и имеет следующий цикл работы.

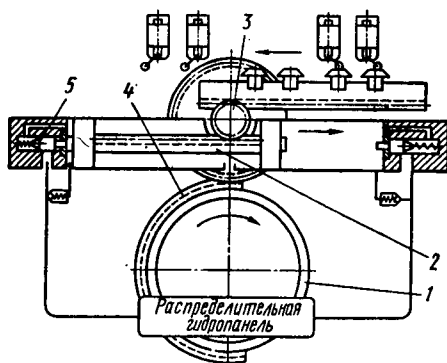


Рис. VI-22. Гидрокинематическая схема поворотного барабана, обеспечивающая поворот заготовки

К моменту ввода приспособления-спутника 1 колокол поднят и ориентирован арочным проемом вдоль транспортера. Когда спутники с деталью поступают на стол поворотного агрегата, колокол опускается и поворачивается. Затем колокол поднимается и поворачивается в исходное положение. Деталь со спутником переталкивается на следующую позицию, и цикл повторяется. Для поворота изделий в вертикальной плоскости применяются поворотные барабаны различных конструкций.

На рис. VI-22 приведена гидрокинематическая схема поворотного барабана конструкции СКБ-1. Поворотный барабан представляет собой кольцо 1, приводимое во вращение реечным механизмом, преобразующим поступательное движение штока-рейки цилиндра 2 через блок-шестерню 3 и зубчатый сектор 4 во вращательное движение кольца. В кольцо помещается поворачиваемая деталь.

Торможение барабана перед остановом на упоре в крайних положениях осуществляется при помощи встроенных в крышки цилиндра торцовых демпферов 5.

Диаграмма надежности поворотных столов некоторых автоматических линий приведена на рис. VI-23. Все устройства имеют одинаковое функциональное назначение — поворот обрабатываемых изделий на 90° вокруг вертикальной оси, однако принципиальные и конструктивные решения различны.

Поворотные столы отечественных линий («Блок-2», 1Л-85) одинаковой конструкции и имеют только движение поворота. Они делят линию на самостоятельные в конструктивном отношении участки со своими транспортерами, командоаппаратами, системами управления циклом и т. д. Такие столы спроектированы СКБ-1 как типовые,

пригодные для разнообразных автоматических линий. Схема типового поворотного стола представлена на рис. VI-24.

На линиях картера сцепления (фирмы «Рено») и поворотного кулака (фирмы «Геллер») поворотные столы имеют движения и поворота, и подъема, что позволяет иметь единый шаговый транспортер до поворотного стола и после него.

Схема поворотного устройства картера сцепления показана на рис. VI-25. Оно состоит из двух боковин, соединенных поперечи-

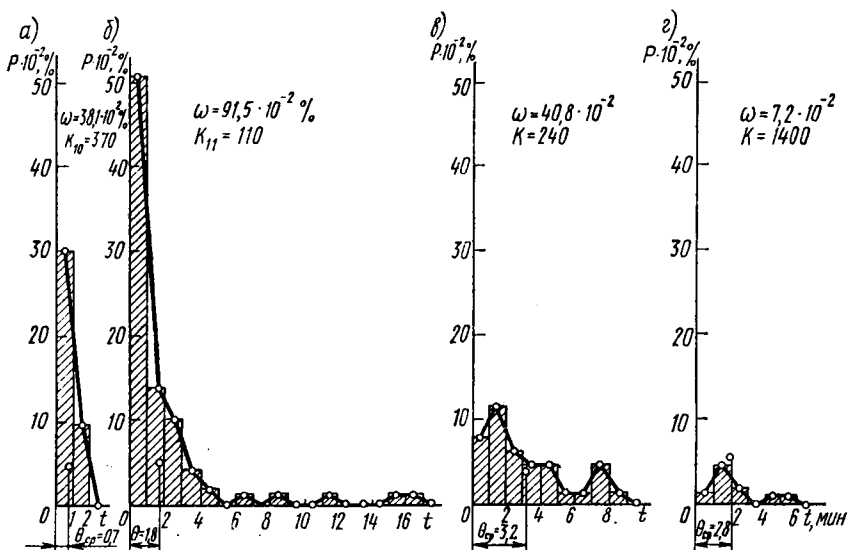


Рис. VI-23. Диаграмма надежности поворотных столов автоматических линий:

а — линия «Блок-2»; б — линия картера сцепления; в — линия поворотного кулака; г — линия картера коробки скоростей; д — линия поворотного кулака; ω — параметр потока отказов в рабочих циклах; θ_{cp} — среднее время обнаружения и устранения отказов

нами, в центре которых находится поворотное приспособление в виде вилки, на которой имеются срезы для установки спутника. На них укреплены жесткие фиксаторы. Пневматический цилиндр 1 имеет шток, соединенный при помощи рейки с зубчатым колесом механизма поворота. При перемещении штока зубчатая рейка поворачивает шестерню, закрепленную на валу вилки. К штоку цилиндра прикреплен кронштейн, несущий на себе гидравлический амортизатор, замедляющий скорость поворота в начале и конце поворота, и два упорных валика с закрепленными на них упорами. Эти упоры нажимают на конечные выключатели 3 и 4, контролирующие крайние положения поворотного стола. Пневматический цилиндр 6 производит подъем и опускание вилки через рычажную передачу, крайние положения которой контролируются посредством конечных выключателей 7 и 8.

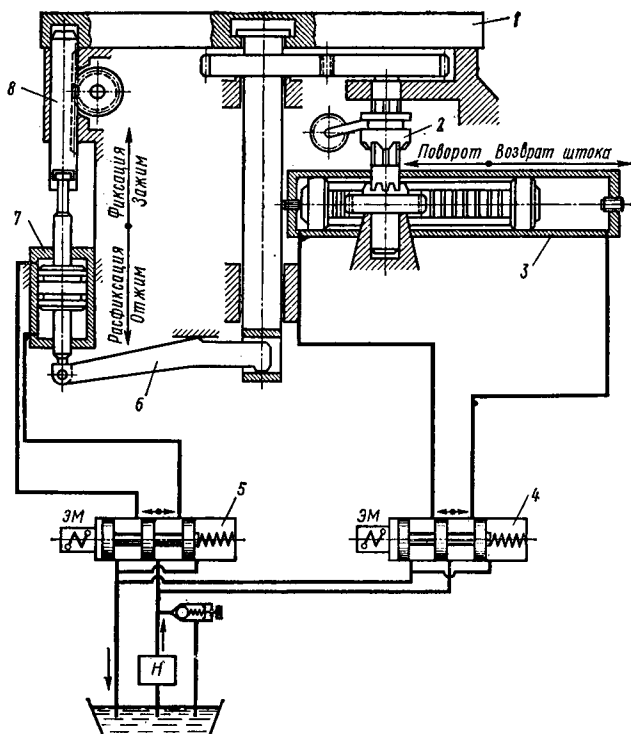


Рис. VI-24. Поворотный стол конструкции МСКБ АЛ и АС:

1 — планшайба поворотного стола; 2 — кулачковая муфта; 3 — гидроцилиндр поворота; 4 — управляющий золотник поворота; 5 — управляющий золотник фиксации и зажима; 6 — рычаг зажима стола; 7 — гидроцилиндр привода фиксации и зажима стола; 8 — фиксатор

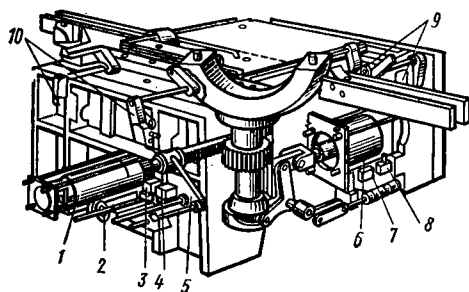


Рис. VI-25. Схема поворотного стола линии картера сцепления:

1 — пневмоцилиндр поворота; 2 — труба подвода воздуха; 3, 4 — конечные выключатели, контролирующие крайние положения стола при повороте; 5 — скоба с тягами; 6 — пневмоцилиндр подъема стола; 7, 8 — конечные выключатели, контролирующие крайние положения стола при подъеме; 9 — устройства контроля схода детали с поворотного стола; 10 — устройства контроля наличия детали перед поворотным столом

Конечные выключатели 9 и 10 контролируют присутствие спутника и его прохождение через поворотный стол. Работа поворотного стола происходит следующим образом: спутник при входе на направляющие поворотного устройства нажимает через соответствующую рычажную систему на конечные выключатели 10, при замыкании которых подается сигнал о подаче сжатого воздуха в цилиндр подъема 6. При подъеме вилки фиксаторы входят в гнезда спутника и поднимают его над транспортером. В верхнем положении замыкается конечный выключатель 7, который сигнализирует об окончании подъема. Шток цилиндра 1 через рейку поворачивает вилку на 90°. В начале и конце поворота гидравлические амортизаторы снижают

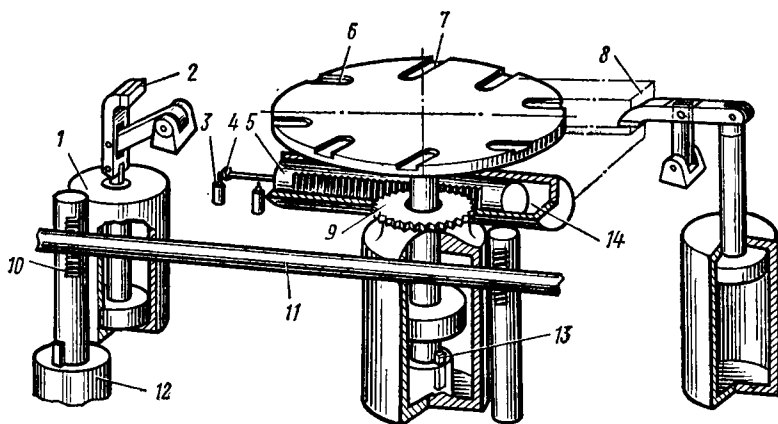


Рис. VI-26. Поворотный стол линии поворотного кулака

1 — гидроцилиндр зажима спутника; 2 — кронштейн зажима; 3 — датчики контроля крайних положений поворотного стола; 4 — кулачок; 5 — шток гидроцилиндра поворота; 6, 7 — вырезы на зеркале поворотного стола; 8 — транспортер продольного перемещения; 9 — зубчатые колеса поворота; 10 — шток фиксатора; 11 — тяга фиксатора; 12 — направляющая фиксатора; 13 — шпонка механизма подъема стола; 14 — гидроцилиндр поворота

скорость до минимально возможной, обеспечивая безударную работу механизма. После поворота замыкается конечный выключатель 3 и вилка перемещается вниз, опуская спутник на направляющие транспортера. При этом фиксаторы выходят из своих гнезд. При замыкании конечных выключателей 9 и 10 шток цилиндра 1 перемещается в исходное положение, где, замыкая конечный выключатель 4, дает команду об окончании поворота.

Принципиальная схема поворотного стола фирмы «Геллер» дана на рис. VI-26. Отличительной чертой поворотного стола является то, что после поворота на нем ведется обработка детали. Это требует создания специальных зажимных устройств, удерживающих спутник на поворотном столе во время обработки.

Эксплуатационные исследования надежности показывают, что хотя поворотные устройства линии картера сцепления и поворотного кулака работают в более благоприятных условиях, чем пово-

ротные столы отечественных линий (поворачивают спутник, а не деталь), их показатели надежности значительно ниже (см. рис. VI-23), чем у отечественных линий как по характеристикам безотказности, так и по длительности их устранения (в 1,5—2 раза). Это объясняется тем, что устройства имеют сложную конструкцию (см. рис. VI-25 и VI-26) с двумя приводными механизмами подъема и поворота, со сложной регулировкой и системой сигнализации. В конструкциях не предусмотрена фиксация столов в конце хода. Поворотные столы отечественных линий имеют среднюю наработку на отказ более 1000 циклов (в линии 1Л-85 $K_n = 1400$, в линии 1Л-83 $K_n = 1100$). Исключение составляет лишь линия «Блок-2», у которой поворотный стол имеет безотказность, сравнимую с показателями поворотных столов зарубежных конструкций. По своей конструкции он значительно проще, чем поворотные столы линий 1Л-83 и 1Л-85, а система сигнализации сведена к минимуму. Высокая интенсивность отказов обусловлена износом ряда деталей и механизмов стола, а также большим разбросом размеров обрабатываемой детали, значительно превышающим допустимые.

Наиболее частая причина отказа — транспортер участка II (линия «Блок-2») не захватывает деталь с поворотного стола: 1) из-за перекоса блока в направляющих стола (причина — износ направляющих, подпружиненной планки и гнезд, пружин различной жесткости, что ведет к перекосу подпружиненной планки); 2) из-за неблагоприятного расположения зон разброса конечного хода транспортера в заднем положении, его углового положения, положения захватной собачки и т. д.; 3) рядом других факторов. Эти отказы быстро устраняются.

При уменьшении потока отказов у поворотных столов (линии 1Л-83) среднее время простоя увеличивается из-за увеличения доли времени, затрачиваемой на поиск неисправности и устранения причины неисправности.

Наблюдения за работой поворотных столов линий зарубежных конструкций показывают, что при высокой интенсивности потока отказов нельзя устранить причину отказов вследствие усложненной конструкции и ненаглядности предусмотренных регулировок, поэтому, как правило, устраняется только следствие отказа. Но для этого уже недостаточно передвинуть спутник с закрепленной на нем деталью, необходимо вернуть стол в первоначальное положение при помощи кнопок ручного управления, что занимает значительное время. Спутник с закрепленной на нем деталью значительно тяжелее, чем линейный блок цилиндров, головка блока или картер коробки скоростей и его передвижение требует значительных усилий. Тем более от кнопок ручного управления необходимо опустить стол, чтобы фиксаторы выходили из базовых отверстий спутника.

На линии картера сцепления часто случается, что поворотный стол не поворачивает деталь до конца или неправильно опускается после поворота (т. е. не нажимает на конечный выключатель). Обычно эти неисправности устраняют, дожимая стол до конечного положения усилием руки. Благодаря этому большая часть отказов устраняется

быстрее одной минуты, чем и вызвано малое среднее время устранения отказа $\theta_{\text{ср}} = 1,9$ мин.

По мере эксплуатации линии выяснена причина этих отказов. Она обусловлена засорением пневмосистемы поворотных столов мелкой стружкой и пылью. Ряд мероприятий по линии системы планово-предупредительного ремонта позволяет повысить надежность поворотных столов.

§ 5. НАКОПИТЕЛИ ЗАДЕЛОВ

Транспортные механизмы, обеспечивающие при работе автоматической линии некоторое накопление полуфабриката (заделов) между отдельными агрегатами линии, называются *накопителями заделов*.

Автоматические линии, выполняющие сложные технологические процессы, состоящие из сложных агрегатов, снабженных большим количеством режущих и измерительных инструментов, оснащаются транспортными системами с накопителями. Это необходимо для сокращения простоев линии даже в случае выхода из строя отдельных станков, агрегатов или участков. Работающие станки или участки продолжают работу благодаря накопленным запасам от предыдущего станка и пополняют запасы в накопителе последующего станка.

Применение накопителей заделов улучшает показатели всей линии, уменьшая простои и повышая ее производительность. Эффективность накопителей в повышении производительности автоматических линий зависит от их структурной схемы и надежности в работе.

Рассмотрим наиболее простой и наглядный вариант — автоматическую линию, состоящую из трех последовательных участков (или станков) с накопителями заделов (тупикового типа) между ними (рис. VI-27).

Накопитель *А* тупикового типа работает только при выходе из строя одного из участков линии. В этом случае неполадки в работе накопителя не приводят к простоям участков. Если выходит из строя накопитель *Б* тупикового типа, оба участка начинают работать как единая линия, соединенная жесткой связью. Поэтому накопитель тупикового типа выгоден благодаря обеспечению высокой надежности в подаче заготовок на участок обработки.

Транспортеры-накопители заделов применяются преимущественно в автоматических линиях с жесткой межагрегатной связью и принудительным транспортированием деталей (линии из агрегатных станков для корпусных деталей, линии ступенчатых валов и др.). Они работают во взаимодействии с шаговыми транспортерами, поворотными столами и конструктивно идентичны шаговым транспортерам.

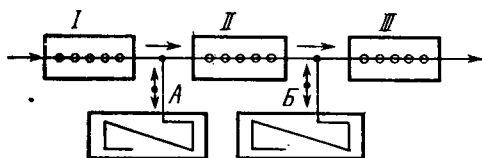


Рис. VI-27. Структурная схема компоновки накопителей тупикового типа: I, II и III — участки автоматической линии; А и Б — накопители заделов тупикового типа

Автоматический магазин для корпусных деталей (рис. VI-28) состоит из двух продольных штанговых транспортеров 1 и 11 с убирющимися собачками и четырех поперечных транспортеров 3, 4, 5, 6. В продольные транспортеры 1 и 11 встроены поворотные столы 2 и 10, поворачивающие обрабатываемые детали на 90° . Детали перемещаются по направляющим планкам 7 с помощью штанги 8, на которой через шаг установлены собачки 9.

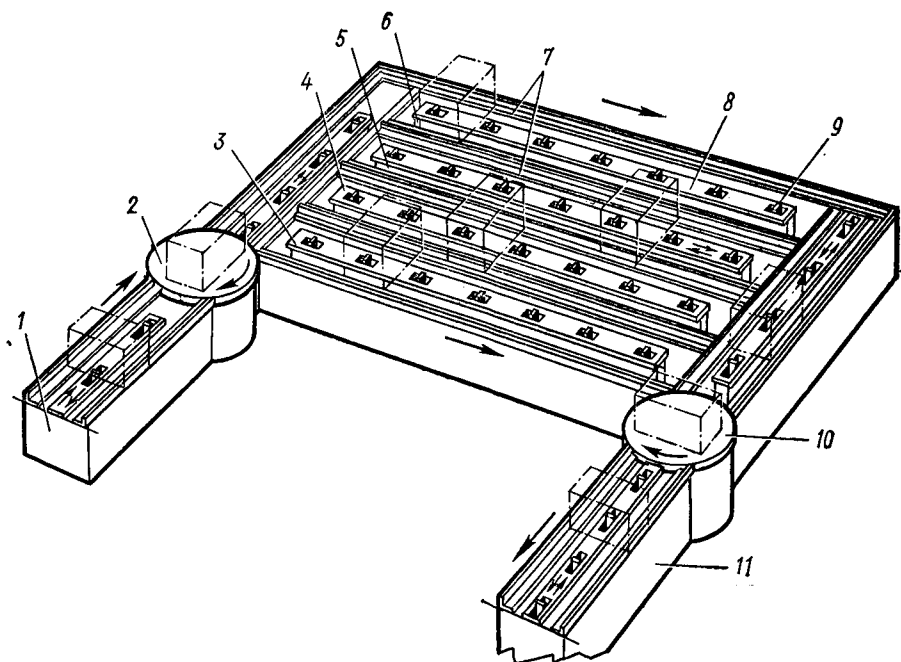


Рис. VI-28. Автоматический накопитель для корпусных деталей

Работа магазина происходит в такой последовательности. При нормальной работе автоматической линии блоки с транспортера 1 передаются транспортером 3 на транспортер 11 и затем к автоматам последующего участка. При останове последующего участка автоматически выключаются транспортеры 3 и 11, а включаются транспортеры 4, 5, 6, которые имеют общий привод, а следовательно, работают синхронно. При заполнении транспортера 11 детали подаются в магазин транспортерами 4, 5 и 6. Для совершения одного хода транспортеров 4, 5 и 6 транспортер 1 совершает три хода. При заполнении деталями транспортеров магазин выключается и вместе с ним прекращается работа участка автоматической линии.

При останове предыдущего участка линии последующий может работать, используя запас блоков в магазине. В этом случае выключаются транспортеры 1 и 3, а транспортеры 4, 5, 6 и 11 работают. С помощью транспортеров 4, 5 и 6 блоки выдаются на транспортер 11.

За один ход транспортеров 4, 5 и 6 транспортер 11 совершает три хода. Когда блоки из магазина израсходованы, работа последующего участка автоматически прекращается.

Особенностью конструкции транспортеров 4, 5, 6 является возможность перемещения блоков в обе стороны. Для этого подвижные штанги транспортера снабжены двумя рядами крановых упоров, причем расположение одного ряда диаметрально противоположно другому ряду (второй ряд собачек на рисунке не виден). При одном положении штанг блоки перемещаются в направлении к транспортеру 11, а при повороте на 180° — в сторону транспортера 1. Необходимость обратного движения блоков в магазина возникает при прекращении работы линии на магазин, имеющий некоторый запас блоков, находящихся в конце магазина. В этом случае нужно прежде всего переместить их назад к транспортеру 1, а затем уже пустить в работу предыдущий и последующий участки линии.

Обратное перемещение блоков производится в наладочном режиме работы автоматического магазина. Схема работы вертикального автоматического магазина для корпусных деталей принципиально аналогична шахтному магазину (рис. VI-29, а) для крупных деталей типа колес железнодорожных подшипников.

Магазин состоит из поворотного стола 3, на котором установлены на вертикальных валах 15 шесть вращающихся трехкассетных барабанов 4. В каждую из трех кассет I, II, III барабана укладываются двадцать деталей столбиком друг над другом, как показано на рис. VI-29, б. Во время работы магазина его стол и барабаны периодически поворачиваются, причем число зубьев зубчатых колес поворотного стола и барабанов подобрано так, что при повороте стола на $\frac{1}{6}$ оборота каждый барабан поворачивается на $\frac{1}{3}$ оборота вокруг своей оси. Вращение стола осуществляется от привода, располагаемого в нише магазина 2 (под поворотным столом), закрытой крышкой 1.

От электродвигателя 29 (рис. VI-29, б) через пары зубчатых колес 30 и 31 вращение при помощи червяка 28 передается червячному колесу 27. На валу червячного колеса жестко укреплено водило 24 с роликом 25 мальтийской передачи. Мальтийский крест 22 посажен на опорную втулку 16, несущую поворотный стол 3 на шарикоподшипнике 20. Таким образом, при вращении водила 24 его ролик 25 входит в одну из шести радиальных прорезей мальтийского креста 22 и поворачивает колесо на $\frac{1}{6}$ часть. При повороте опорной втулки 16 (на $\frac{1}{6}$ часть оборота) происходит круговой поворот барабанов 19, во время которого их зубчатые колеса 18 обкатываются относительно неподвижного зубчатого колеса 17. Благодаря этому кассета в каждом барабане поворачивается на $\frac{1}{3}$ оборота.

Детали разгружаются и загружаются в магазин с верхнего рольгангового транспортера 11 в одной позиции. Эта позиция оборудована платформой 8 для удержания деталей, движущихся в вертикальной плоскости по направляющей 10 при помощи винта 9 от электродвигателя 6 через редуктор 7, установленный на плите 5. Кассета барабана загружается деталями при периодическом опускании платформы сверху вниз, а выгружается при ее движении снизу вверх. Загру-

ка и выгрузка деталей с транспортера 11 в приемную позицию А барабана магазина осуществляется при помощи специального устройства, состоящего из кассеты 12 на штоке 13 пневматического цилиндра 14.

Магазин работает в трех режимах: на прием, на выдачу и на свободный пропуск колец по транспортеру. При работе на прием каретка 12 забирает деталь с транспортера 11 и перемещает его в кассету барабана. После опускания платформы на один шаг каретка возвращается в исходное положение. При работе на выдачу каретка дви-

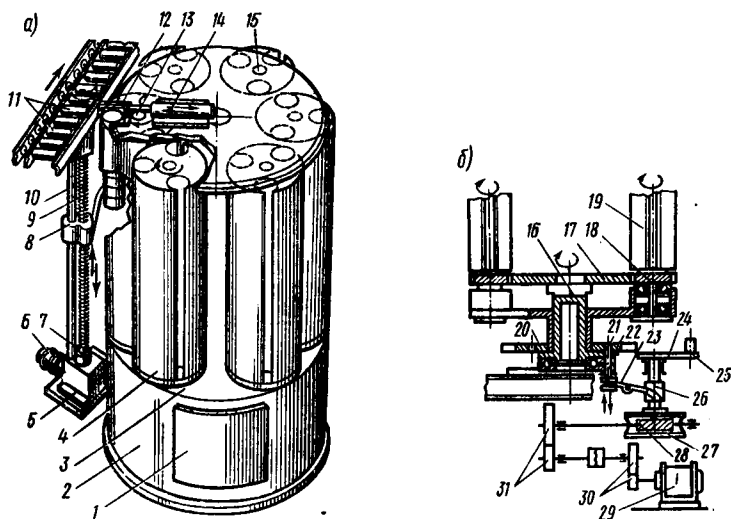


Рис. VI-29. Магазин-накопитель секционного типа

жется в кассете и вилка каретки становится над деталью. Платформа 8 с деталями делает шаг вверх, направляя выгружаемую деталь в вилку каретки. В этом положении каретка движется к транспортеру, передвигая деталь с кассеты на вилки транспортера. При проходе детали на прямую, минуя магазин, каретка остается неподвижной. Кассета полностью загружается деталями, когда платформа опускается в нижнее крайнее положение. В это время весь магазин поворачивается на $1/6$ оборота и на позиции загрузки подходит первая кассета следующего барабана.

Когда первые кассеты шести барабанов заполнены, стол магазина совершает второй оборот, барабаны при этом поворачиваются на следующие $1/3$ оборота и на позицию загрузки подходят вторые кассеты. В этом случае сначала заполняется вторая кассета первого барабана, затем вторая кассета второго барабана и т. д. На третьем повороте магазина на позицию загрузки последовательно подходит третья кассета всех барабанов. Полное заполнение деталями всех восемнадцати кассет происходит за три полных оборота поворотного стола ма-

газина. При работе магазина на выдачу детали разгружаются в обратном порядке. Детали передаются к транспортеру подъемником (снизу вверх). Для подъема и опускания стола магазина служит барабанный кулачок 26, при помощи которого через рычаг 23 поднимается вал 21.

§ 6. КОМПОНОВКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В автоматических линиях с жесткой связью применяют различные транспортные системы для перемещения обрабатываемых деталей из одной позиции в другую. Понятие компоновки, т. е. составление из отдельных элементов единого целого, в применении к транспортным системам линий с жесткой связью содержит вопросы выбора направления, взаимного расположения основных механизмов, механизмов привода и управления, расположения основных агрегатов, планировки участков и всей транспортной системы в целом.

Автоматические линии не только различного, но и одинакового технологического назначения весьма разнообразны и по пространственной компоновке транспортных систем и по методике их внешнего оформления. Однако в каждом случае компоновка должна быть результатом инженерного анализа конкретных условий, быть оптимальной, т. е. помогать выполнять функциональный процесс, возложенный на транспортную систему, способствующую получению максимальной производительности. Приступая к проектированию транспортной системы автоматической линии, необходимо ясно представлять факторы, объективно влияющие на компоновку, уметь оценивать и сопоставлять их между собой, так как в большинстве случаев эти факторы находятся в противоречии и всегда требуется найти оптимальное решение. Следует помнить, что задача оптимальной компоновки решается с позиции определенного момента времени.

Рациональная компоновка транспортной системы автоматической линии с жесткой связью с точки зрения технологического процесса способствует повышению производительности линии, а компоновка с точки зрения экономии производственной площади увеличивает производительность с единицы площади, что при всех прочих равных условиях обеспечивает повышение производительности общественного труда и снижение себестоимости продукции. Рассмотренные факторы являются общими и действуют постоянно, хотя значимость их изменяется со временем.

В каждом конкретном случае решение вопроса компоновки транспортной системы начинается после разработки технологии детали, определения вида машины, выбора числа позиций обработки, характера базировки, установления необходимости накопителей и т. д. Принятый технологический процесс и количество позиций определяют в качестве исходных данных необходимый комплект механизмов рабочих и холостых ходов и вид конструктивных форм механизмов транспорта.

На рис. VI-30 приведена общая схема компоновки сквозного транспортера автоматической линии из агрегатных станков 2 с одинаковым положением детали. Такой транспортер обеспечивает перемещение обрабатываемых деталей от станка к станку. Как показано на схеме, транспортер 3 проходит непосредственно через рабочие позиции, а детали перемещаются в одном направлении. В позиции 1 заготовка устанавливается на транспортер, а в позиции 5 снимаются обработанные детали. На каждой позиции 4 заготовка закрепляется перед обработкой.

Передача деталей от станка к станку осуществляется путем скольжения по планкам или путем переключивания деталей. Перемещение деталей по планкам производится при помощи транспортера с храповыми собачками.

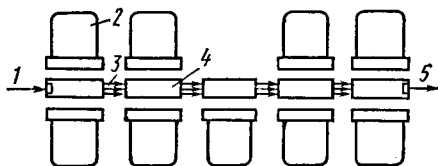


Рис. VI-30. Схема компоновки сквозного транспортера автоматической линии

Транспортер с храповыми собачками является самым простым по конструкции и управлению и поэтому получил наиболее широкое применение. Область применения такого транспортера ограничена перемещением деталей, имеющих достаточно большие плоские опор-

ные поверхности и возможность направления боковыми планками во избежание поворота. Эти транспортеры не рекомендуется применять также и в тех случаях, когда не допускается даже незначительное повреждение нижней плоскости. Кроме того, применение таких транспортеров нецелесообразно при перемещении большого количества деталей, передвижение которых по планкам требует больших усилий привода и вызывает быстрый износ базовых планок приспособлений.

Схема компоновки шагового транспортера с храповыми собачками показана на рис. VI-31. Транспортер состоит из одной или двух лент 2, которые собираются из нормализованных звеньев. Каждое звено состоит из двух планок 11, между которыми на осях 5 располагаются собачки 6. В момент транспортирования собачки прижимаются пружинами 4 к упорам 7. Между планками 11 устанавливаются регулировочные кольца 1. В звене может быть от одной до трех собачек в зависимости от шага транспортирования. Звенья между собой соединяются планками 8.

Опорами для ленты транспортера служат ролики 10, которые состоят из кронштейна 14 и ролика 15. Ролик 15 вращается вокруг оси 16 на радиальных шарикоподшипниках с защитными шайбами, предназначенными для предотвращения попадания стружки и эмульсии. Расстояние между роликами не должно превышать 1500 мм. Транспортируемая деталь перемещается по нижним планкам 13. Для направления детали служат боковые планки 12. Движение транспортера осуществляется от подвижной каретки 9 вправо через кронштейн 3.

Чтобы уменьшить опасность попадания стружки в пружины, собачки выполняют с нижним расположением пружины. Такая кон-

струкция показана на рис. VI-32, а. Для устранения отскока деталей от собачек используются ограничители перебега (рис. VI-32, б).

Рычаг ограничителя 1 крепится на подвижной планке транспортера 2. В свободном состоянии под действием сил веса ограничитель занимает нижнее положение 3 (на схеме показано пунктирной линией).

По мере перемещения транспортера с деталью штифт 5, который установлен на ленте транспортера, воздействует на ограничитель, который к концу хода транспортера штифтом поднимается в положение 4. В этом положении ограничитель препятствует дальнейшему перемещению детали, поэтому ее можно использовать только в том случае, если продольный размер деталей выдержан с допуском не более $\pm 0,25$ мм.

В случае если обрабатываемую деталь нельзя перемещать шаговым транспортером с храповыми собачками, применяют шаговые транспортеры-перекладчики. На рис. VI-33 показана компоновочная схема рейнерного шагового транспортера, перемещающего обрабатываемую деталь 1 при помощи захватов, закреплен-

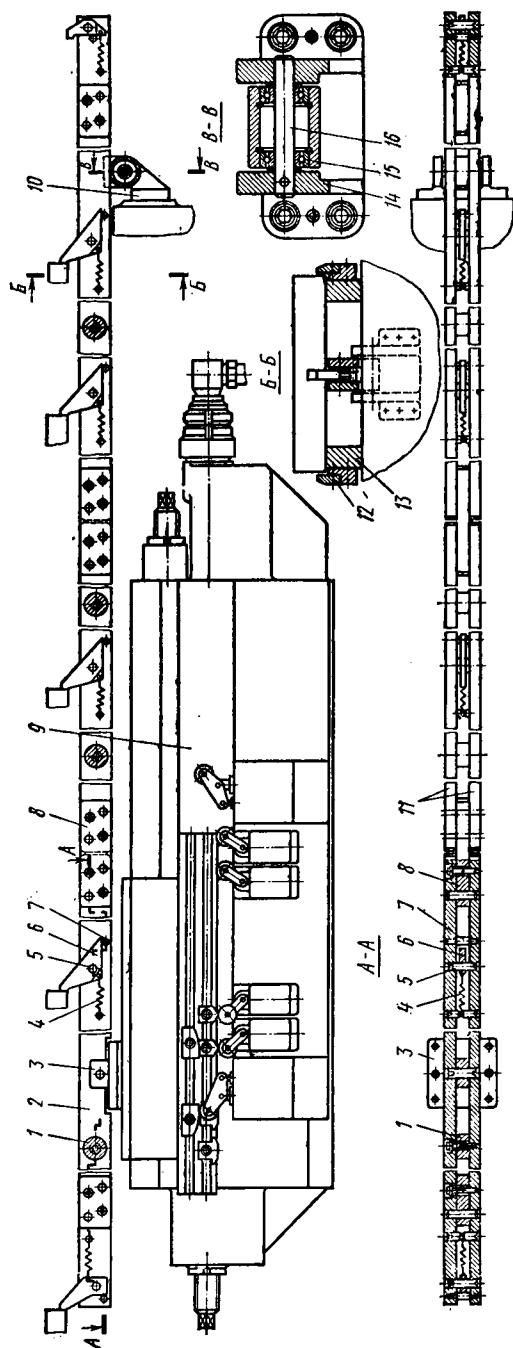


Рис. VI-31. Компоновка шагового транспортера с храповыми собачками

ных на штанге, расположенной над станками. Рейнеры 2 совершают возвратно-поступательное движение между станками линии; захваты рейнеров опускаются и поднимают обрабатываемые детали; затем они опускаются после перемещения всего рейнера на один шаг, загружая рабочую позицию станка.

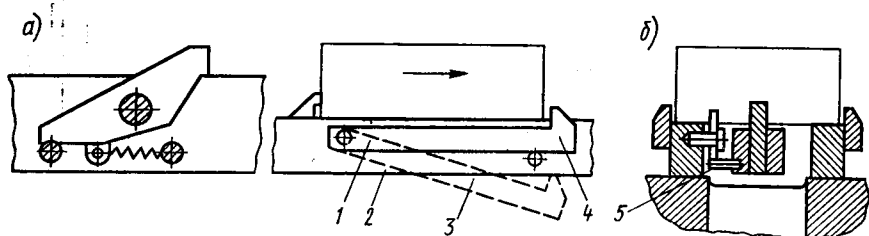


Рис. VI-32. Компоновка элементов конструкции шагового транспортера с храповыми собачками

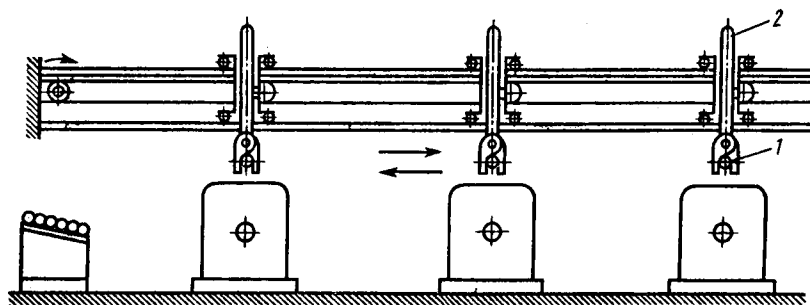


Рис. VI-33. Компоновка шагового транспортера рейнерного типа

Рейнерные транспортеры упрощают компоновку линии, экономят производственную площадь, однако они сложны по устройству и потому недостаточно надежны в работе.

Одной из важнейших проблем повышения работоспособности автоматических линий является правильный выбор транспортной системы. В настоящее время существует много конкурирующих вариантов решения типовых задач транспортировки обрабатываемых деталей, их поворота, закрепления и удаления стружки.

В зависимости от способа перемещения обрабатываемых деталей на автоматической линии транспортная система может выполняться выносной. В этом случае транспортер деталей выносится за станки; обрабатываемые заготовки, кроме перемещения от одной позиции к другой, дополнительно перемещаются перпендикулярно основному транспортеру, что необходимо для подачи их в приспособления станков. Передача деталей от станка к станку может и в этом случае вы-

полняться путем скольжения по планкам или путем перекалывания деталей.

На рис. VI-34 приведена компоновочная схема автоматической линии с вынесенным транспортером. Обрабатываемая заготовка поступает в позиции 1, а обработанная деталь снимается в позиции 5. При обработке деталь проходит с транспортера 2 на позицию 4, где производится ее обработка агрегатными головками 3. После обработки деталь снова возвращается на транспортер.

Рассмотренный тип компоновки транспортной системы широко применяется в автоматических линиях для обработки деталей сложной формы.

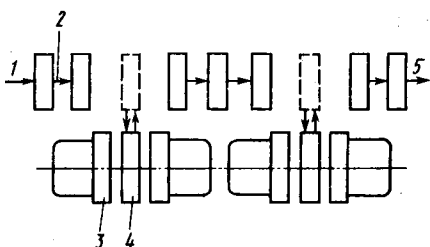


Рис. VI-34. Компоновка выносной транспортной системы

§ 7. МЕХАНИЗМЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И УБОРКИ СТРУЖКИ

Удаление стружки является одним из самых сложных и часто трудноразрешимых вопросов при проектировании автоматических линий. Прежде всего необходимо стремиться к уменьшению количества стружки, возникающей при обработке, к получению раздробленной стружки.

Весь комплекс этих вопросов можно разбить на три группы:

1. Отвод стружки из рабочей зоны станка, удаление ее с базовых поверхностей и зажимных элементов, не повреждая при этом их, а также поверхностей деталей.

2. Транспортирование стружки в сборнике цехового транспортера.

3. Очищение охлаждающей жидкости, масла от мелкой стружки и шлака.

В настоящее время удаление стружки из рабочей зоны станка осуществляется простыми методами, без применения особых механизмов:

1) при помощи шитков, скребков, щеток, граблей — так называемым механическим способом;

2) гравитационным, т. е. стружка падает под действием собственного веса в стружкосборники под станок или возле него;

3) смытием струей эмульсии;

4) сдуванием или всасыванием;

5) при помощи электромагнита.

Часто эти методы применяются в сочетании друг с другом. Однако в практике работы автоматических линий возможны случаи, когда применение этих методов не дает нужного результата. Например, очистка от стружки приспособлений-спутников с деталью, особенно когда на линии не применяется охлаждение эмульсией, и смыв

стружки жидкостью невозможен. В таких случаях применяют специальные устройства, опрокидывающие и встряхивающие приспособления-спутники с деталью.

Для удаления стружки из рабочей зоны можно использовать различные транспортные механизмы. В зависимости от конкретных условий, определяемых компоновкой автоматических линий и организацией труда на них, находят применение три следующие системы транспортирования стружки с линии в общеходовую транспортную систему стружки.

1. Транспортирование стружки в контейнерах, когда с отдельных станков через окна в станине стружка высыпается в соответствующую емкость. Такая система менее совершенна, чем автоматизированная.

2. Транспортирование стружки транспортерами, проходящими вне линии и имеющими подводящие конвейеры того или иного типа от отдельных станков.

3. Транспортирование стружки транспортерами, встроенными непосредственно в линию или проходящими под ней в специальной яме, канаве, тоннеле. Использование такой системы транспортирования исключает необходимость иметь на каждый из рабочих агрегатов линии устройство, отводящее стружку с отдельных агрегатов линии на общий транспортер стружки, так как он расположен непосредственно под зонами обработки на самих этих агрегатах.

На всех линиях, спроектированных ЭНИМСом, МСКБАС и АЛ и МСКБ АЛ и СС, а также на большинстве линий зарубежной конструкции транспортер стружки встроен непосредственно в линию или проходит под ней в канаве.

Выбор той или иной конструкции подобного встроенного транспортера, а также его расположения (сквозь станки линии или в канаве под станками) зависят от конкретных условий работы линии и ее компоновки; при этом учитывают, употребляется ли поливочная жидкость при работе станков; имеется ли на линии нижний транспортер возврата приспособлений-спутников; имеет значение вид, форма и размеры отходящей стружки.

Очень часто в качестве транспортных средств применяются конвейеры различных типов — ленточные, скребковые, шнековые, вибрационные и ершово-штанговые.

В автоматических линиях для уборки стружки находят применение обычные ленточные транспортеры (рис. VI-35, а), у которых лента изготавливается из хлопчатобумажной ткани. Ленточные конвейеры обладают высокой производительностью, позволяют транспортировать стружку на большие расстояния; они отличаются экономичностью, плавностью и бесшумностью работы, простотой конструкции. Недостатками ленточных конвейеров является высокая первоначальная стоимость и быстрый износ ленты.

Для транспортирования мелкой металлической стружки широко применяются скребковые транспортеры (рис. VI-35, б). Преимуществами этого транспортера являются: возможность транспортирования под значительными углами наклона, долговечность скребков. К не-

достаткам их относятся небольшая производительность, большой удельный расход энергии и небольшая длина перемещения. В автоматических линиях скребковые транспортеры работают на небольшие расстояния и поэтому весьма эффективны.

В последние годы в автоматических линиях все чаще применяются шнековые транспортеры (рис. VI-35, в), состоящие из винта с приво-

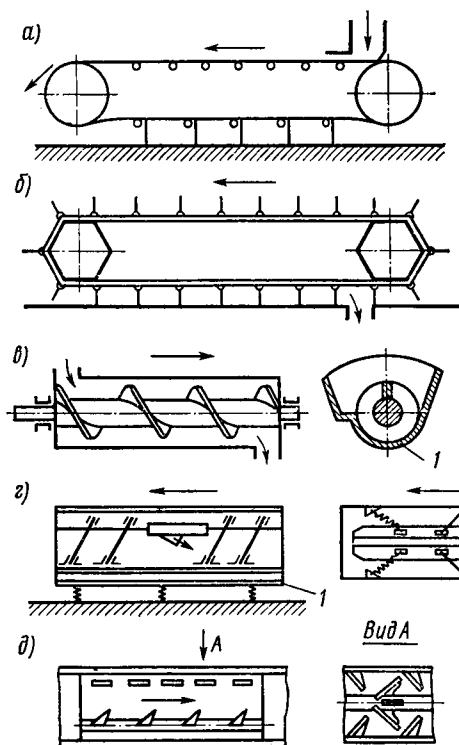
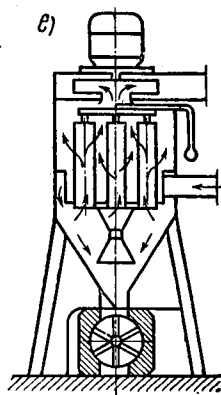


Рис. VI-35. Устройства удаления стружки:

а — ленточный транспортер; б — скребковый транспортер; в — шнековый транспортер (1 — с одним шнеком; 2 — с двумя шнеками); г — вибрационный транспортер (1 — с индукционным приводом; 2 — с механическим приводом); д — ершово-штанговый транспортер; е — отсасывающий агрегат



дом и желоба, охватывающего винт. При вращении винт, расположенный по оси желоба, проталкивает по этому желобу стружку, которая насыпается через загрузочные патрубки. Особенностью шнековых транспортеров для отвода стружки является то, что они работают безотказно и в случае отсутствия опор на выходном конце. Поэтому они считаются наиболее совершенными и эффективными.

Шнековые транспортеры выполняются с одним или несколькими винтами. В зависимости от числа витков транспортеры называются одношнековыми (исполнение 1), двухшнековыми (исполнение 2) и т. д.

В последнее время появились новые конструкции вибрационных транспортеров для транспортирования стружки в автоматических линиях (рис. VI-35, г), которые представляют собой вибрирующий (от индукционного 1 и механического 2 привода) желоб на упругих опорах. Опыт эксплуатации свидетельствует от их эффективности.

Как известно, наибольшую трудность для отвода и транспортирования представляет витая или сливная стружка. В настоящее время разработаны конструкции специальных транспортеров, предназначенных для транспортирования сливной стружки (рис. VI-35, д). Ершово-штанговый транспортер представляет собой металлический желоб с приваренными шипами, внутри которого совершает возвратно-поступательное движение ершовой штанга. Совершая рабочий ход, штанга ершами увлекает находящуюся в желобе стружку и проталкивает ее вперед. При обратном движении штанга проскальзывает по стружке, удерживаемой шипами желоба.

Таким образом, в результате возвратно-поступательного движения ершовой штанги стружка перемещается по желобу в одном направлении. Движение рабочему органу передается от гидравлического, пневматического или механического привода.

Кроме указанных механизмов удаления стружки нужно отметить устройство, отсасывающее стружку из рабочей зоны с помощью потока воздуха. Это устройство предназначено для удаления только мелкой стружки (рис. VI-35, е).

В действующих автоматических линиях часто применяется также комбинация из нескольких типов транспортных средств для удаления стружки. Выбор транспортных средств зависит от конкретных условий, в которых должна эксплуатироваться линия.

ЦЕЛЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ С ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ

Как уже известно, автоматические линии с гибкой межагрегатной связью — это линии, в которых благодаря межоперационным заделам все станки работают независимо, с самостоятельным рабочим циклом.

Автоматические линии с гибкой связью строятся преимущественно для обработки изделий типа коротких тел вращения (кольца подшипников, шестерни, всевозможные колпачки, втулки, гильзы, фланцы и др.). Их особенностью является возможность перемещений под действием силы собственной тяжести, что широко используется при межстаночным транспортировании, накоплении заделов и т. д. Исходным материалом служат как непрерывные (труба, прутки), так и штучные заготовки, получаемые прокаткой, ковкой, штамповкой, резе литьем. Наиболее типовые операции обработки — токарные и шлифовальные, что позволяет для данных типов изделий создавать типовые технологические процессы как стабильную основу для создания автоматических систем машин.

В последние годы все более широкое применение получают автоматические линии для производства различных малогабаритных изделий, например радиоэлементов (сопротивления, конденсаторы и др.). Здесь типовыми технологическими процессами являются прессование, спекание, гибка, рубка, сборка, контроль электрических параметров. Обработываемые изделия перемещаются принудительно (или скольжением), гибкая межагрегатная связь обеспечивается за счет установки между всеми технологическими агрегатами бункеров-накопителей большой вместимости.

Большая номенклатура и массовость изделий, для которых могут создаваться линии с гибкой связью (годовая потребность в подшипниках, шестернях, конденсаторах исчисляется по стране сотнями миллионов штук в год), и относительной стабильностью конструкции создают весьма благоприятную основу для широкой автоматизации, создания автоматических линий и цехов. Этому благоприятствует и наличие для большинства операций обработки (токарных, шлифовальных, полировальных и зуборезных) достаточно отработанных конструкций одношпиндельных и многошпиндельных автоматов, многие из которых непосредственно пригодны для встраивания в автоматические линии. Это позволяет сосредоточить главные усилия при конструировании автоматических линий с гибкой межагрегатной связью на разработке транспортно-загрузочных систем, которые вы-

полняют функции не только межстаночного транспортирования, но и накопления заделов, соединения и разъединения потоков обработки и т. д.

Задачи расчета и конструирования целевых механизмов автоматических линий с гибкой межагрегатной связью существенно отличаются от аналогичных задач применительно к станочным технологическим механизмам. Целевые механизмы автоматических линий — это механизмы холостых ходов, которые не воспринимают технологических усилий; поэтому при их создании прочностные и кинематические расчеты либо носят простейший характер, либо вовсе не применяются.

Основная задача расчета и конструирования — на основе комплексного анализа необходимых функций целевых механизмов и известных конструктивно-компоновочных решений выбрать такое сочетание элементов транспортной системы, которое обеспечит необходимое быстродействие, пропускную способность и надежность в работе при минимальной стоимости. При этом важен сравнительный качественный и количественный анализ возможных вариантов конструкций и компоновок, а также выбор наиболее рациональных и перспективных решений.

Особенно важно использование известных типовых элементов, механизмов и устройств, так как важнейшие функции межстаночного транспортирования, как показано ниже, являются типовыми; широкое использование принципов стандартизации и унификации, прибегая к проектированию оригинальных конструкций лишь в тех случаях, когда новые задачи не могут быть эффективно решены арсеналом известных средств и методов.

§ 1. ФУНКЦИИ ЦЕЛЕВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Первыми развитыми автоматическими линиями с гибкой связью для производства тел вращения (изделий типа колец и дисков) явились так называемые групповые автоматические линии (рис. VII-1). Такая линия представляет, по существу, блок коротких (два-три станка) автоматических линий, на каждой из которых производится обработка изделий одного типоразмера. Функции транспортной системы —

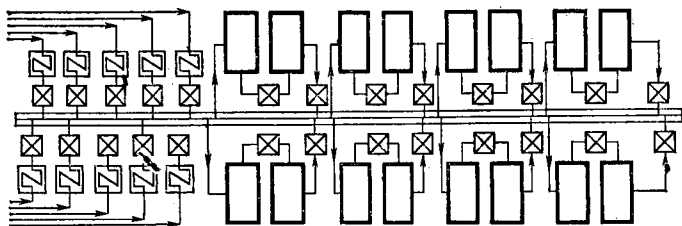


Рис. VII-1. Структурная схема групповой автоматической линии

первичное накопление изделий, подача их на транспортер-распределитель, распределение по отдельным параллельно работающим станкам, передача на последующие операции, соединение потоков обрабатываемых изделий.

Повышение объема выпуска изделий как объективная закономерность развития современного машиностроения приводит к тому, что требуемая программа изготовления наиболее массовых изделий даже в пределах одного предприятия не может быть реализована одной парой последовательно работающих станков. Уже в первых групповых автоматических линиях некоторые типы колец обрабатывались на двух-трех параллельных потоках. Дальнейшее увеличение программы выпуска делает возможным и целесообразным создание мно-

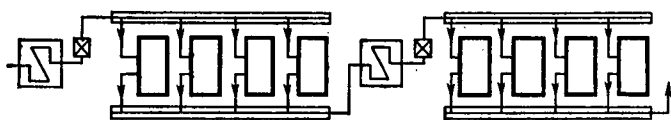


Рис. VII-2. Структурная схема многопоточной линии с гибкой связью

гопоточных автоматических линий с гибкой связью для обработки одного наименования изделий.

Впервые такие линии были созданы по проекту Московского специального конструкторского бюро автоматических линий и специальных станков (МСКБ АЛ и СС) с использованием транспортной системы, предложенной В. П. Бобровым. В отличие от групповых линий здесь транспортер-распределитель объединяет группу только одинаковых параллельно работающих станков (рис. VII-2). После обработки на станках изделия поступают в отводной транспортер, где происходит объединение потока, который поступает в подъемник, а оттуда — в транспортер-распределитель параллельно работающим станкам, выполняющим вторую токарную операцию. На границе между обоими участками могут располагаться автоматические накопители заделов большой емкости, кроме того, заделы образуются в подающих лотковых системах станков и частично — на распределительных и отводящих транспортерах.

Схема (рис. VII-2) в настоящее время является наиболее распространенной и перспективной, так как она позволяет идентично автоматизировать технологические процессы с любым количеством последовательно выполняемых операций обработки, контроля и сборки при любом количестве параллельно работающего оборудования на каждой операции. Она позволяет при наличии резервных площадей встраивать дополнительное оборудование в действующие линии, выводить отдельные станки в плановый ремонт и т. д.

Механизмы межстаночного транспортирования в комплексе составляют транспортно-накопительные системы и состоят из большого

числа устройств и приспособлений, выполняющих разнообразные функции.

Опыт конструирования и эксплуатации транспортных систем автоматических линий с гибкой связью показывает, что для транспортирования деталей применяют в основном два способа — с использованием силы тяжести и внешней движущей силы.

Эти два способа дают следующие возможные варианты перемещения деталей: а) гравитационный — под действием силы тяжести перемещаемых деталей; б) полугравитационный — под действием силы тяжести перемещаемых деталей с применением дополнительных устройств для искусственного уменьшения силы сопротивления движению деталей; в) принудительный — под действием внешней движущей силы.

Гравитационный способ транспортирования деталей характеризуется тем, что при данном способе не требуется какого-либо источника энергии, каких-либо сложных устройств и механизмов. Достаточно обычных лотков, которые являются одновременно несущей конструкцией, направляющими и емкостью. Гравитационное транспортирование может происходить в пространстве, в этом случае детали падают вертикально или под углом к горизонту; по наклонной плоскости, где деталь контактирует только с опорной поверхностью, и в лотках, где детали могут уже ориентироваться.

Однако применение гравитационного способа транспортирования ограничивается из-за возрастающих скоростей перемещаемых деталей, которые могут достичь опасных значений, вызывающих появление забоин на элементах конструкций транспортных устройств и перемещаемых деталях. Применение же устройств, уменьшающих скорость, не всегда возможно.

Принудительный способ транспортирования характеризуется тем, что позволяет перемещать детали в любом направлении и с любой закономерностью движения, т. е. равномерно, прерывисто, ускоренно и т. д. Транспортирование деталей в данном случае может происходить в пространстве, на плоскости, в лотках. Перемещение в пространстве происходит путем применения специальных захватных устройств, сил инерции, струи жидкости, воздуха и т. д. Принудительное перемещение изделий на плоскости и в лотках обычно происходит захватными или толкающими приспособлениями.

Во всех этих случаях требуются приводные устройства с двигателями, передаточными и исполнительными механизмами.

Гравитационное и принудительное транспортирование деталей может происходить скольжением, качением и перемещением деталей на каком-либо несущем устройстве непрерывно и прерывисто, поштучно или группой. Все эти виды перемещения могут комбинироваться, дополняя друг друга, что позволяет более гибко использовать преимущества того или иного метода транспортирования.

Любая развитая форма транспортно-накопительной системы содержит в себе следующие основные устройства: 1) подъемник, 2) транспортер-распределитель, 3) отводящий транспортер, 4) лотковую систему, 5) магазин-накопитель; при этом некоторые устройства могут

выполнять частично или полностью функции других. Каждое устройство, в свою очередь, может включать большое количество механизмов и устройств: механизмы приема и выдачи деталей, отсекатели, ритмопитатели, ориентирующие устройства, блокировочные устройства и т. д.

Классификационная таблица транспортных систем автоматических линий с гибкой связью с указанием наиболее типовых целевых механизмов и их разновидностей приведена на рис. VII-3.

Подъемные устройства предназначены для перемещения деталей на необходимую высоту, обеспечивающую скатывание деталей под действием собственного веса к транспортным устройствам и станкам автоматической линии. На производстве широкое применение нашли два типа подъемников: цепной и толкающий.

Транспортеры-распределители предназначены для перемещения и распределения колец на несколько параллельно работающих станков в соответствии с потребностями каждого.

Транспортеры-распределители конструктивно делятся на транспортеры с верхним и нижним расположением.

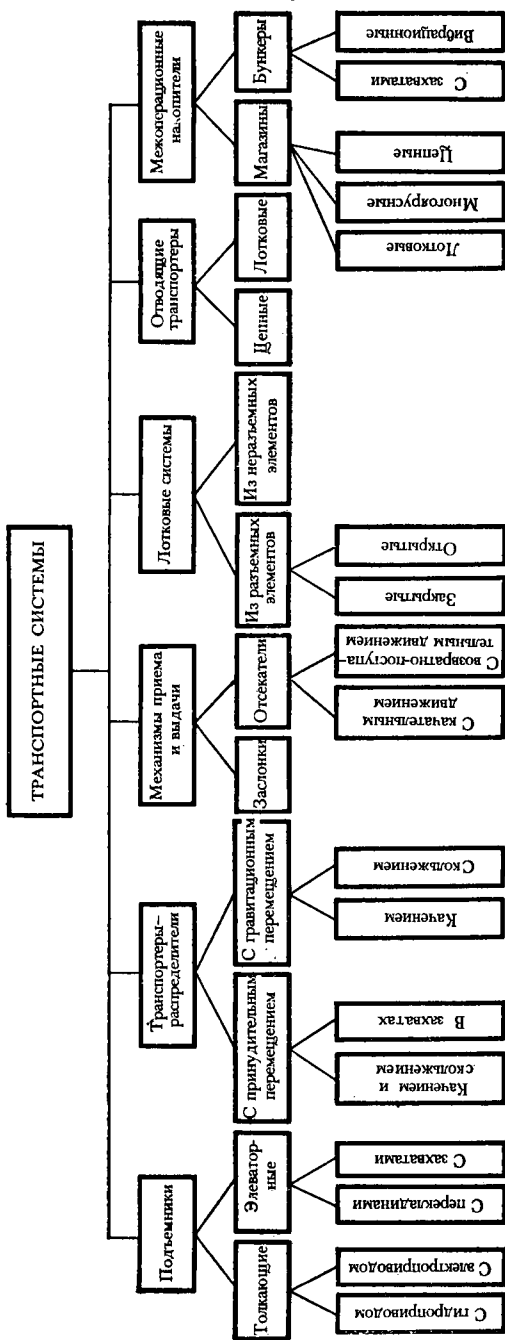


Рис. VII-3. Классификация целевых механизмов линий с гибкой связью

Верхнее расположение транспортера позволяет довести до минимума площади, занятые под автоматической линией, нижнее — увеличивает их.

По компоновке относительно станков различают транспортеры двусторонние и односторонние.

Транспортеры-распределители, кроме своих основных функций, выполняют функции небольших накопителей, обеспечивая тем самым незначительное время работы участка при неработающих других.

Отводящие транспортеры предназначены для отвода обработанных колец от станков. Транспортеры устанавливаются ниже рабочих зон обрабатывающих станков: под полом, на полу и на небольшой высоте относительно пола.

Транспортеры-распределители и отводящие транспортеры различают также по типу несущего органа: ленточные, цепные и лотковые.

В транспортных системах автоматических линий с гибкой связью широко применяются лотки для передачи колец от одних транспортных устройств к другим, от них к станкам и от станков на отводящие транспортеры. Лотки являются простейшими транспортными устройствами, перемещение в которых может происходить качением и скольжением.

Накопительные устройства предназначены для межоперационного накопления деталей и последующей их выдачи работающим участкам или станкам. Они выполняются в виде магазинов с упорядоченным и ориентированным расположением деталей, а также в виде бункеров, где детали могут находиться в неориентированном положении.

Поскольку все вышеупомянутые механизмы и устройства производят перемещение деталей, они снабжены механизмами их приема и выдачи, отсекателями, ориентирующими устройствами и другими приспособлениями, предназначенными для подачи деталей поштучно или группой в упорядоченном, строго ориентированном относительно основного технологического оборудования положении.

§ 2. ТРАНСПОРТЕРЫ-ПОДЪЕМНИКИ

В автоматических линиях с гибкой межагрегатной связью наибольшее применение получили два типа транспортеров-подъемников: 1) толкающие, с прерывистым действием приводных звеньев и 2) элеваторные, с непрерывным действием приводных звеньев.

Конструктивная схема толкающего подъемника показана на рис. VII-4. Штанга 2 совершает возвратно-поступательные движения от гидро- или пневмопривода 1 (возможен и механический привод от электродвигателя через редуктор и кривошипно-шатунный механизм). При нижнем положении штанги (рис. VII-4, а) в шахту 4 транспортера-подъемника из приемного лотка поступает очередная заготовка. При ходе вверх штанга перемещает весь столб заготовок на один шаг, при этом верхняя заготовка скатывается по лотку выдачи. При обратном ходе штанги (вниз) столб заготовок удерживается от опус-

кания подпружиненным стопором 3 (рис. VII-4, б), который при каждом ходе вверх утапливается очередной заготовкой.

В конструкцию транспортеров-подъемников входят также блокировочные устройства, управляющие его включением и выключением (см. гл. V), демуagnetизаторы для изделий из намагничивающихся материалов. Они широко применяются в автоматических линиях подшипниковой и автомобильной промышленности. В последнее время созданы конструкции подъемников, скомпонованных из унифицированных элементов, что позволяет производить регулировку и настройку механизмов подъемника на другие типоразмеры колец.

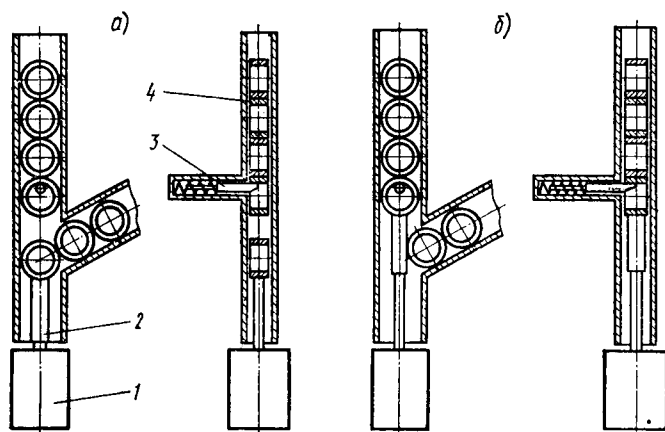


Рис. VII-4. Транспортер-подъемник толкающего типа:
а — нижнее положение толкателя; б — верхнее положение толка-
теля

Корпус подъемника, являющийся одновременно шахтой для перемещаемых колец, может служить также опорной стойкой для других устройств транспортной системы (транспортера-распределителя, лотковых систем и т. п.).

Однако устройства подъема деталей толкающего типа имеют существенные недостатки, заключающиеся в том, что все силовые элементы рассчитываются на силу веса столба колец, находящихся в шахте подъемника, которая тем больше, чем больше необходимая высота подъема деталей. Это обстоятельство усугубляется тем, что при повышении режимов работы транспортных устройств сила инерции столба деталей может оказаться значительно больше их веса.

Подъемники толкающего типа с механизмами возвратно-поступательного движения довольно трудно применять при высоком режиме работы транспортных устройств, что резко снижает их надежность и долговечность по причине быстрого износа и деформаций конструктивных элементов. Схемы наиболее типовых отказов при работе подъемников толкающего типа показаны на рис. VII-5. При опускании ползуна (рис. VII-5, а) столб колец 2 значительного веса за-

держивается отсекателем 3 (см. рис. VII-4, б), при этом нижние кольца в силу создавшегося момента сил разворачиваются с ударом о стенку шахты 1, постепенно образуя на нем выемку. Со временем она достигает размеров, достаточных для заклинивания колец. Устранение подобных отказов занимает значительное время, так как шахта подъемника не просматривается. В подводящих лотках, а также в шахтах подъемника, при увеличении зазора между кольцами и бортом из-за неточности изготовления или деформации может произойти западание буртов заготовок и их заклинивание (рис. VII-5, б).

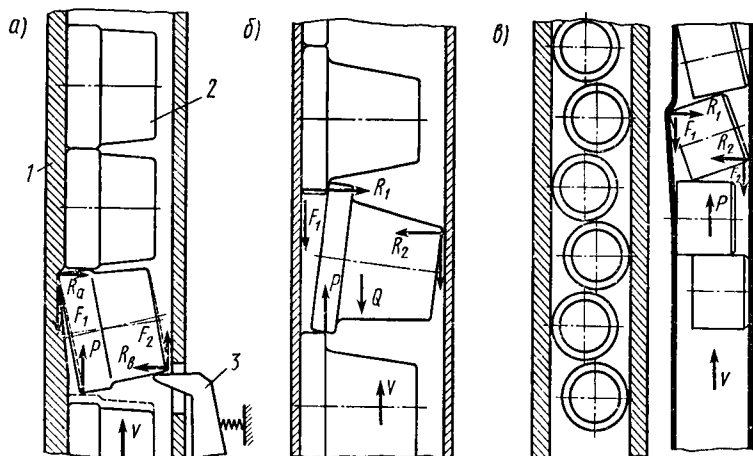


Рис. VII-5. Схемы возникновения отказов при работе толкающих подъемников:

а — при местном износе стенок; б — при нарушении ширины шахты; в — при деформациях стенок шахты подъемника; R — опорные реакции; F — силы трения; P — движущая сила; Q — сила веса изделий; v — направление скорости перемещения изделий

На рис. VII-5, в показана схема заклинивания колец в шахте подъемников при возникновении шероховатостей, деформации тонкостенных бортов канала шахты, появляющейся в результате их износа, попадания посторонних предметов вместе с кольцами. Такие неполадки могут привести к поломке и разрушению механизмов подъемников, особенно при несрабатывании блокировочных устройств. Таким образом, при конструировании подъемников требования высокой точности изготовления и сборки, жесткости и износостойкости являются такими же необходимыми, как и для конструкций, воспринимающих большие усилия обработки.

Недостатки толкающих подъемников, связанные с низкой долговечностью и надежностью в работе, значительной инерционностью и наличием пассивного задела, обусловили применение конструкций подъемников элеваторного типа непрерывного действия. Типовая конструктивная схема элеваторного цепного транспортера-подъемни-

ка показана на рис. VII-6. Подъемник состоит из корпуса 2, по концам которого смонтированы натяжные 11 и приводные 1 звездочки. Через звездочки переброшены две параллельные цепи 13 с захватами 10, выполненными в виде перекладин. В зависимости от количества приемных лотков цепь снабжается утолщенными перекладинами для привода синхронизирующего механизма, через одно, два и т. д. звена цепи.

В некоторых конструкциях подъемников поступление изделий производится несинхронно с движущимися захватами. Вследствие этого нередки случаи, когда изделие не успевает попасть в захват под действием собственного веса и заклинивается, что приводит к авариям. В данном случае подъемники с несколькими приемными лотками, расположенными друг над другом (в вертикальной плоскости), снабжены синхронизирующими механизмами, пропускающими изделия в соответствии с движением захватов цепи. Движение цепи осуществляется от индивидуального привода 3.

Рабочие ветви цепей проходят между направляющими пластинами. В верхней части корпуса имеется лоток выдачи 16, а в нижней один или несколько лотков приема 4, расположенных друг над другом. Лотки приема снабжены отсекающими 5, укрепленными на общем валике и связанными подпружиненными в продольном направлении тягами 6 и 7, одна из которых соединена с рычагом 9, свободно укрепленным на оси. Этот рычаг имеет отросток, связанный серьгой 8 с другими рычагами 12, также свободно укрепленными на другой оси.

Во время работы подъемника в приемные лотки 4 изделия поступают под действием собственного веса и задерживаются левыми отсекающими. Утолщенная перекаладина цепи 10 отклоняет левое плечо рычага 9 вверх, вследствие этого рычаг 12 отклоняется вниз навстречу движению перекладины. Вместе с этим отсекатели 5 поворачиваются на определенный угол и пропускают в подъемник по одному изделию из каждого лотка, остальные изделия задерживаются отсекателями. Изделия, попавшие в подъемник задолго до прихода захватов, ориентируются на языке 4 и на откидной собачке 15, опираясь на стенку корпуса подъемника.

Когда утолщенная перекаладина оказывается за рычагом 9, она отклоняет рычаг 12 и тем самым ставит отсекатели 5 в прежнее положение; при этом отсекатели пропускают очередные изделия. При дальнейшем движении цепи изделия, находящиеся в подъемнике, транспортируются в лоток выдачи к конвейеру-распределителю.

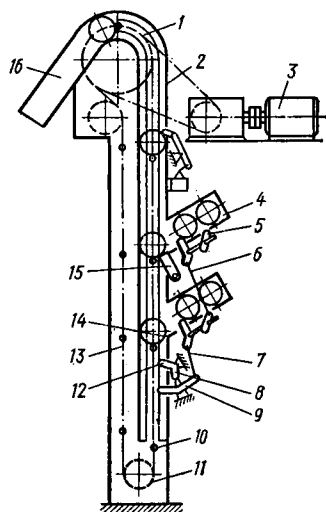


Рис. VII-6 Транспортер-
подъемник элеваторного
типа

В ряде конструкций цепных элеваторных подъемников вместо перекладин применяют захваты, на которые ложатся обрабатываемые заготовки, соприкасающиеся с боковыми стенками шахты (рис. VII-7). По сравнению с толкающими, цепные элеваторные подъемники обеспечивают более плавную работу с меньшей вероятностью отказов. Возможные застревания заготовок (при редком подходе колец к подъемнику отдельные кольца могут подходить к захвату не вовремя) легко устраняются реверсом тягового органа от предохранительного устройства.

В конструкциях подъемников с захватами можно не применять отсекатели загрузочных лотков, что упростит конструкцию без ущерба работоспособности. Для этого на цепи между двумя захватами необходимо встраивать ограничительные кулачки, которые не дают возможность поднимать две или более детали на одном захвате. Лишние детали сбрасываются обратно в лоток загрузки. Для того чтобы детали не выпадали из лотка, участок лотка загрузки, примыкающий к подъемнику, делается с высокими бортами. Такая конструкция позволяет работать подъемнику с высокой пропускной способностью.

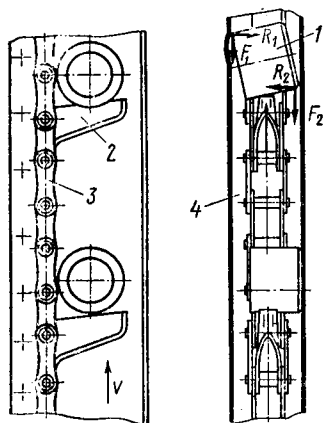


Рис. VII-7. Схема возникновения отказов при работе элеваторных подъемников:
1 — подаваемые изделия; 2 — захват; 3 — цепь подъемника;
4 — стенки шахты

Проведенные эксплуатационные исследования работоспособности элементов транспортных систем автоматических линий с гибкой связью показывают, что подъемники элеваторного типа имеют более низкую интенсивность отказов, чем толкающие. Тем не менее во всех конструкциях, где перемещение вверх происходит в канале шахты, наблюда-

ются отказы, связанные с заклиниванием и застреванием изделий при износе и деформации (см. рис. VII-7). При перемещении вверх со скоростью v непрерывной цепью 3 с захватами 2 ввиду неизбежного зазора между стенками шахты подъемника 4 и изделиями 1 положение последних на захвате хаотично. Разворот может привести к соприкосновению с обеими стенками с возникновением сил трения F_1 и F_2 , увеличивающих сопротивление тяговой цепи, и нормальных сил R_1 и R_2 , деформирующих стенки шахты.

Если эти стенки для экономии металла и уменьшения веса выполняются из тонкого листового материала, возникающие деформации могут привести к значительным неполадкам, которые не могут быть в должной степени локализованы за счет механизмов реверса цепи.

Из опыта проектирования и эксплуатации транспортеров-подъемников различного типа следует, что высокие показатели долговечности и надежности в работе можно обеспечить лишь при устранении стенок подъемников как базирующих поверхностей при подь-

еме изделий. Такая возможность может быть реализована, например, путем создания цепных элеваторных подъемников с захватами, которые входят в отверстия транспортируемых изделий. Подъемная сторона роликовой цепи должна быть расположена на одной линии с нижним концом наклонного желоба, причем каждый штырь при движении цепи по направлению вверх входит в отверстие самого нижнего кольца, находящегося в желобе. В процессе дальнейшего продвижения цепи вверх штырь подхватывает кольцо, которое придерживается вилкой, расположенной над нижним кольцом желоба, таким образом, чтобы штырь проходил между зубцами вилки. Кольцо, висящее на штыре, поднимается из желоба наверх и проходит мимо верхнего зубчатого колеса подъемника. Здесь кольцо скатывается со штыря и попадает в наклонный желоб, идущий в направлении расположения других устройств.

Чтобы в процессе подъема деталей не происходило их соскальзывание со штырей, ставятся промежуточные подпружиненные вилки для прижима изделий. Такие конструкции в настоящее время уже получили применение в автоматических линиях. Дальнейшее повышение надежности можно обеспечить путем уменьшения количества перебазирровок изделий при их транспортировании, создания конструкций, совмещающих функции подъема, распределения и соединения потоков.

§ 3. ТРАНСПОРТЕРЫ-РАСПРЕДЕЛИТЕЛИ

Транспортеры-распределители являются наиболее типовыми целевыми механизмами многопоточных автоматических линий с гибкой связью и составляют основу их транспортной системы. Тип транспортера-распределителя оказывает существенное влияние не только на конструктивные решения остальных механизмов и узлов транспортной системы, но и конструктивную компоновку системы в целом. Отдельные конструкции транспортеров-распределителей отличаются друг от друга прежде всего способом транспортирования (принудительное или гравитационное; качением, скольжением или в подвешенном состоянии) и методом разделения общего потока заготовок.

С начала создания автоматических линий с гибкой связью транспортеры-распределители создавались преимущественно с принудительным перемещением обрабатываемых изделий, качением или скольжением по неподвижному направляющим или перемещением на ленте. Так, в одной из первых линий системы Морозова изделия перемещались по многожелобному лотку с помощью поводков двух параллельных бесконечных цепей. Каждый желоб предназначается для одного типа изделий и питает одну пару встроенных станков. Такая конструкция оказалась весьма металлоемкой и габаритной, при этом использовалась только верхняя ветвь тяговых цепей. Большая ширина лотка, а следовательно, длина поводков, соединяющих обе цепи, приводили к неизбежному перекосу поводков при неравномерном вытягивании цепей, что иногда вызывало поломку зубьев тяговых звездочек. Линия эксплуатировалась около пятнадцати лет, после чего

была демонтирована ввиду того, что встроенные станки морально устарели. Однако многие принципы построения транспортной системы, прежде всего транспортирование колец качением по лоткам с помощью поводков замкнутой цепи, оказались перспективными и широко используются в настоящее время.

Обобщение опыта конструирования и эксплуатации позволило создать современные конструктивные схемы распределителей, в которых используются и принудительное, и гравитационное перемещение обрабатываемых изделий. Принудительное перемещение производится в большинстве случаев качением по неподвижной опорной

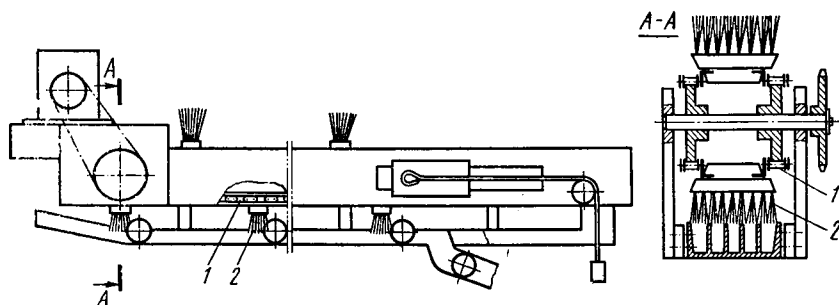


Рис. VII-8. Транспортер-распределитель с перемещением изделий качением

поверхности, реже на движущей ленте. Наличие большого количества разнообразных конструктивных решений свидетельствует прежде всего о том, что найти единое решение, обладающее только преимуществами применительно к любым типоразмерам изделий, по-видимому невозможно.

На рис. VII-8 приведена одна из простейших конструкций с принудительным перемещением изделий качением. Детали в системе перемещаются по многожелобчатому лотку, каждый ручей которого обслуживает группу станков. Транспортирование осуществляется с помощью щеток 2, закрепленных на бесконечной втулочно-роликовой цепи 1 и совершающих непрерывное поступательное движение над желобами с деталями. Конструктивные недостатки остаются теми же, что и в транспортере конструкции Морозова. Однако при застревании деталей по какой-либо причине в желобах щетки проскальзывают и привод вместе с тяговой цепью не выходит из строя.

Существуют конструкции с принудительным перемещением изделий на движущейся ленте, на неподвижных направляющих с помощью рычагов-захватов и т. д. Однако наибольшее применение среди транспортеров с принудительным перемещением получили системы, построенные по принципу, предложенному впервые В. П. Бобровым. Изделия перемещаются качением по единому лотку под действием непрерывно движущейся замкнутой цепи. Типовая конструкция с принудительным перемещением изделий показана на рис. VII-9.

При движении цепи транспортера имеющиеся в ней пальцы для перемещения колец проходят под коромыслом 4, нажимают на его правый конец, заставляя поворачиваться вокруг средней оси, тем самым другим концом с помощью тяги поворачивают угольник 10. Находящийся в угольнике подпружиненный штырь нажимает на выступ отсе-

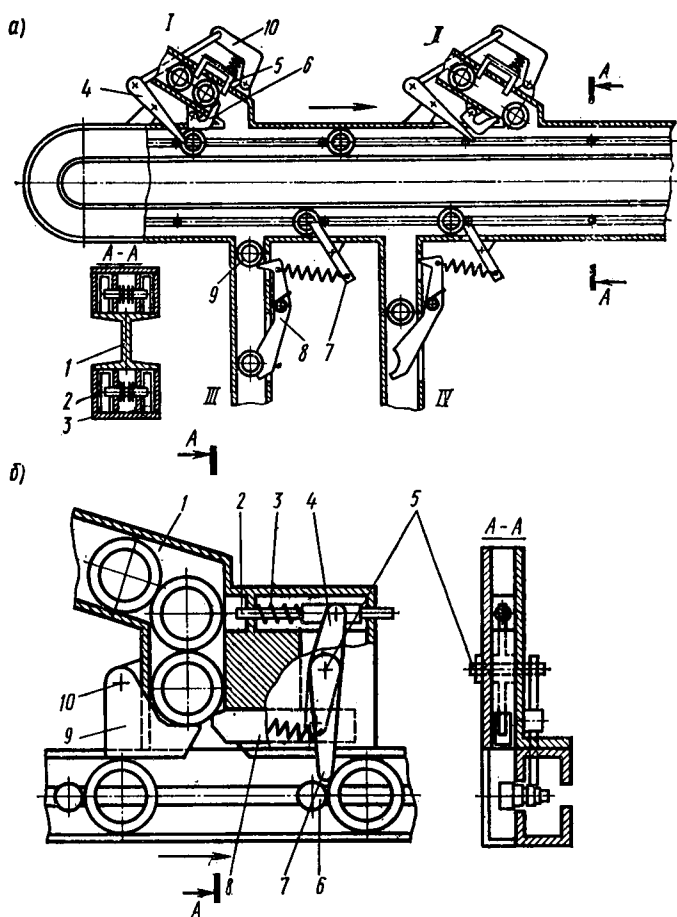


Рис. VII-9. Транспортер-распределитель цепного типа с принудительным перемещением изделий:
а — общий вид; б — механизм приема изделий на транспортер

кателя 5, заставляя его поворачиваться вокруг своей оси. Во время поворота отсекаателя левый его выступ заходит между первым и вторым кольцом (позиция I), тем самым удерживаются второе и все последующие кольца; так как одновременно уходит правый выступ отсекаателя, первое кольцо, ничем не удерживаемое, падает в желоб транспортера.

Для того чтобы первое кольцо выпало в желоб транспортера, собачка 6 должна свободно провисать над собственной тяжестью (позиция *II*), а это происходит только в том случае, когда в данный момент в желобе нет кольца. В случае наличия кольца (позиция *I*) собачка не опускается и не пропускает первое кольцо, несмотря на то, что отсекаТЕЛЬ поворачивается в положение, соответствующее позиции *III*. Изделия 2, попавшие на транспортер, перемещаются в корпусе 1 по замкнутой траектории посредством бесконечной цепи с перекладинами, которые и воздействуют непосредственно на изделия, вызывая их качение. В обычном работоспособном состоянии все ячейки цепи (между перекладинами) заполнены, тем самым на транспортере имеется активный межоперационный задел. В нижнем дне 3 короба транспортера имеются окна, в которых смонтированы механизмы выдачи, работающие по командам, подаваемым от параллельно работающих станков.

В транспортере-распределителе, показанном на рис. VII-9, *a* в каждом окне выдачи находится обычно одно изделие 9, препятствующее западанию других изделий, которые проходят мимо и могут транспортироваться по замкнутой траектории многократно. При заполнении лотка выдачи станка отсекаТЕЛЬ 8 своим нижним концом под действием пружины прижимает кольцо. Пальцы цепи транспортера при движении нажимают на коромысло 7, а так как отсекаТЕЛЬ 8 не перемещается из-за наличия кольца, коромысло 7, поворачиваясь вокруг средней оси только растягивает пружину, и движущиеся по желобу кольца не попадают в лоток. Однако если столб колец опускается на величину диаметра (позиция *III*) одного кольца, нижний конец отсекаТЕЛЯ 8 освобождается и, поворачиваясь вокруг средней оси под действием пружины, освобождает проход для верхнего кольца (позиция *IV*); одно из колец нижнего желоба транспортера занимает освободившееся место.

Таким образом, в цепи транспортера-распределителя освобождается одна ячейка, которая и заполняется при проходе мимо механизма приема. Достоинством данной схемы является возможность обслуживания одним транспортером-распределителем большого количества параллельно работающих станков в линии (до 18—20). Существуют и иные принципиальные схемы механизмов приема и выдачи изделий транспортеров-распределителей с принудительным перемещением.

Один из вариантов механизма приема показан на рис. VII-9, *b*. Кольца из подъемника поступают в вертикальный канал 1, из которого они выдаются в линию отсекаТЕЛЕМ 8, связанным с двуплечным рычагом 4. Верхний конец двуплечного рычага связан с отсекаТЕЛЕМ 2. Ролики 6 цепи поворачивают рычаг 7 против движения часовой стрелки. Вместе с ним поворачивается двуплечный рычаг 4, закрепленный на оси 5 с рычагом 7. Нижний конец двуплечного рычага отводит отсекаТЕЛЬ 8 вправо, и кольцо попадает в ячейку, образованную ведущими роликами. В это время верхний конец двуплечного рычага через пружину 3 перемещает отсекаТЕЛЬ 2 влево и тем самым запирает остальные кольца от выпадания в линию. Если в ячейке есть кольцо, то собачка 9, закрепленная свободно на оси 10, поворачивается

кольцом против движения часовой стрелки и запирает канал 1; таким образом, второе кольцо в ячейку не попадает.

После прохода ролика 6 рычаг 7 под воздействием пружины становится в горизонтальное положение до упора. Двуплечный рычаг 4 поворачивается и соединенные с ним отсекатели 2 и 8 возвращаются в исходное положение (как указано на рисунке), пропуская очередное кольцо из-под отсекателя 2 на отсекатель 8. Во время прохождения очередного ролика цепи под рычагом 7 цикл повторяется. Как видно, механизм приема колец в данном случае выполнен конструктивно сложнее, чем предыдущий, содержит большое число подвижных элементов и пружин.

При всем разнообразии принципиальных схем и конструктивных форм транспортеры-распределители с принудительным перемещением изделий имеют общий недостаток, который заключается в необходимости сложного привода перемещения цепи или иных захватных органов, которые сами по себе достаточно сложны и имеют большое количество изнашиваемых сопряжений. Это неизбежно вызывает попытки упростить конструкцию транспортеров-распределителей за счет использования принципа гравитационного перемещения. Однако здесь возникают определенные трудности.

При едином магистральном лотке-распределителе конец лотка располагают на такой высоте, что он не мешает нормальному обслуживанию последнего станка. Поэтому начало лотка располагают на большой высоте от уровня пола, тем самым увеличивается сила удара кольца при его падении из механизма выдачи линии в лоток автооператора на первом станке. При этом появляются забоины и создаются неудобства по обслуживанию линии ввиду затруднительного контроля за работой ее узлов.

Вследствие этого автоматические линии с единым наклонным распределительным лотком, объединяющим большое количество станков, создавать трудно. Отсюда появляются попытки делить линию на отдельные участки по три-четыре станка или искать новые пути, которые привели бы к желаемым результатам. Так, в автоматических линиях шлифовки колец подшипников применен гравитационный транспортер, состоящий из отдельных лотков I, II, III, IV (рис. VII-10), правые концы которых смонтированы на осях. Качение изделий в лотках под собственным весом осуществляется за счет их периодического наклона.

Принцип транспортирования заключается в следующем. Из лотка A партия изделий (количество определяется перепускником) загружается в лоток, который после этого наклоняется. От скатывания изделий удерживаются ограничителем, который открывается при достижении лотком заданного угла α ; в этот момент изделия под собственным весом перекатываются в лоток II до ограничителя 2. Для перемещения их в лоток III достаточно наклонить лоток II на угол α и открыть ограничитель. Таким образом, за счет последовательного наклона лотков в плоскости перекатывания изделий осуществляется их транспортирование по всей длине транспортера.

Привод качания лотков выполнен так, что одновременно с лотком *I* наклоняются все нечетные лотки; четные лотки в это время неподвижны и занимают горизонтальное положение. Аналогичным образом при подъеме и опускании четных лотков остаются неподвижными нечетные. На горизонтальной штанге *1* (рис. VII-10, б), совершающей возвратно-поступательные движения от гидроцилиндра, смонтированы скользящие втулки 2_I , 2_{II} , и упоры 3_I , 3_{II} , которые для нечетных лотков размещены слева от втулок, а для четных — справа. Каждый лоток связан со скользящей втулкой цепью 4_I , 4_{II} , один конец которой закреплен на лотке, а другой — на втулке (для упрощения схемы рассматриваются приводы только двух лотков). Положение цепей

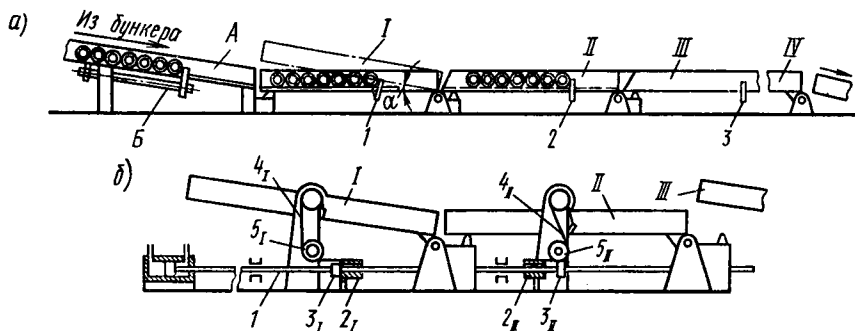


Рис. VII-10. Гравитационный транспортер-распределитель

- относительно звездочек 5_I и 5_{II} для нечетных лотков также иное, чем для четных.

При ходе штанги вправо упор 3_I перемещает втулку и с помощью цепи поднимает лоток (на схеме штанга находится в правом положении). Упор же 3_{II} отходит от втулки 2_I , обеспечивая горизонтальное положение лотка *II*. При движении штанги влево упор 3_I вместе со втулкой 2_I перемещается влево (последняя — за счет опускания лотка под собственным весом) до тех пор, пока свободный конец лотка не опустится на опору; затем упор отходит от втулки. За время отхода влево и подхода упора 3_I ко втулке (холостой ход) лоток *I* остается неподвижным. Упор 3_{II} при ходе штанги влево сначала проходит некоторое расстояние вхолостую, а затем перемещает втулку 2_{II} , при этом лоток *II* поднимается. Таким образом, привод позволяет при непрерывном движении штанги поднимать и опускать одну группу лотков и сохранять неподвижной в горизонтальном положении другую группу.

Транспортер осуществляет и отвод обработанных изделий к лотку *II*, смонтированному рядом с распределителем.

Конструктивно транспортер выполнен сложным с большим количеством подвижных элементов и устройств, занимает большие площади. Скорость транспортирования деталей низка, стремление увеличить ее приводит к конструктивному усложнению транспорте-

ров. Проведенные эксплуатационные исследования показывают, что их отказы в работе проявляются прежде всего в застревании изделий из-за загрязнения, попадания стружки и т. д. Неизбежные факторы нестабильности размеров изделий, загрязнения и засорения проявляются в гравитационных транспортерах-распределителях в еще большей степени, чем в транспортерах с принудительным перемещением изделий.

Тенденцией последних лет являются поиски таких конструкций, которые исключали бы возможность застревания и заклинивания изделий при их принудительном транспортировании в захватах без применения лотковых устройств. По такому принципу создан ряд транспортных систем автоматических линий, действующих на Волжском автомобильном заводе в г. Тольятти. Аналогичные конструкции разработаны и отечественными конструкторами. Так, например, на ИГПЗ внедрен цепной транспортер, особенность которого состоит в том, что детали типа колец перемещаются на поводках-подвесках, длина которых соответствует максимальной ширине детали. Для того чтобы кольца не соскальзывали с подвесок, последние делаются с утолщением на конце. Направляющие выполнены в виде двух пластин, смонтированных на раме транспортера с расстоянием между ними, достаточным для свободного прохождения подвески. Это позволяет транспортировать детали широкого диапазона размеров без переналадки транспортера.

§ 4. ЛОТКОВЫЕ ТРАНСПОРТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Как уже известно, в линиях с гибкой связью иногда лотки применяются в качестве магистральных транспортеров, по которым изделия перемещаются под действием силы тяжести качением, реже — скольжением. Однако наибольшие применения лотковые транспортирующие устройства нашли для передачи изделий от транспортеров-распределителей к автоматам, встроенным в линию, а также для передачи изделий от автоматов к отводящим транспортерам.

На рис. VII-11 показана конструктивная схема взаимной пространственной компоновки встроенного станка, транспортера-распределителя и отводящего транспортера с помощью двух лотковых устройств — подводящего и отводящего; как видно, лотковые системы посредством гибких элементов позволяют обеспечить передачу изделий в любом направлении.

В настоящее время наибольшее применение получили сборные лотки из нормализованных элементов: направляющих и опорных пластин, взаимное положение которых определяется проставными втулками. Пластины соединяются винтами, для чего в одном или трех рядах имеются круглые и продолговатые отверстия (последние дают возможность собирать криволинейные лотки). Пластины изготавливают из гибких стальных закаленных листов толщиной до 1 мм, благодаря чему при изгибах лотков не бывает остаточной деформации и стенки их износостойки. Преимущество построения лотков из

нормализованных элементов заключается в возможности быстрой сборки и разборки транспортной системы.

Лотки, составленные из пластин, открыты и смазка из них вытекает, а металлическая стружка выпадает. Чтобы не засорять стан-

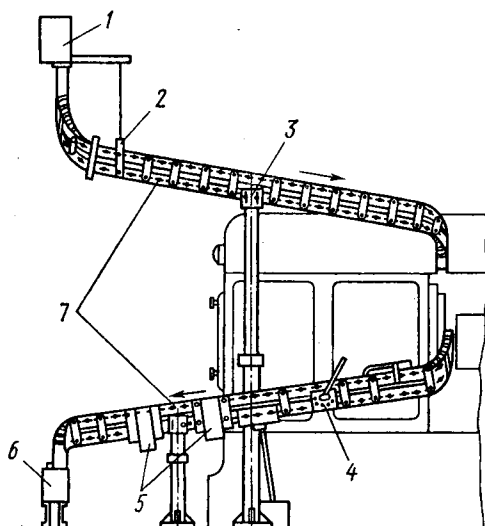


Рис. VII-11. Конструктивная схема лотковой транспортирующей системы:

1 — транспортер-распределитель; 2 — подвеска; 3 — стойка; 4 — заслонка; 5 — защелка; 6 — отводящий транспортер; 7 — лоток

ки, под лотки ставят специальные желоба для сбора эмульсии, масла и стружки. Открытые лотки (рис. VII-12) применяются там, где транспортируются легкие изделия на небольшой высоте. Закрытые лотки применяются при транспортировании тяжелых изделий над рабочим местом, где их выпадение опасно. Закрытый лоток собирается из многорядных пластин, служащих в качестве направляющих, и однорядной пластины скольжения. Крайние отверстия в многорядных пластинах предназначены для их соединения, отверстия в среднем ряду — смотровые.

Лотки, составленные из гибких пластин, пригодны для транспортирования изделий не только простой и сложной цилиндрической формы, но и призматических. Конструкция лотков из нормализованных элементов позволяет производить не только транспортирование заготовок, но и изменение их ориентации (рис. VII-13).

Лотковые транспортирующие системы включают целый ряд дополнительных устройств, например, для замедления скорости изделий, деления их потока и т. д.

На рис. VII-14, а по-

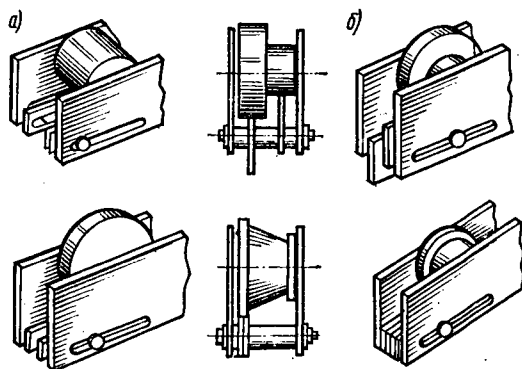


Рис. VII-12. Конструктивные схемы лотков из нормализованных элементов:

а — для передачи цилиндрических изделий; б — для ступенчатых изделий

казана схема работы гидравлического замедлителя. Он состоит из трехплечного рычага 1, одно плечо которого связано со штоком поршня 2, свободно перемещающегося в цилиндре 3, наполненном маслом, а другое несет на себе ролик 4. Рычаг с поршнем уравновешен пружиной 5, прикрепленной к переднему плечу и корпусу лотка. Изделие, наталкиваясь на роликовый рычаг, в результате сопротивления масла в цилиндре испытывает в первый момент сильное торможение. Затем оно оттесняет рычаг и с очень малой скоростью проходит под ним, скатываясь до упора без удара.

Общее сопротивление поршня можно регулировать, для чего поршень состоит из двух дисков с отверстиями. Смещая диски,

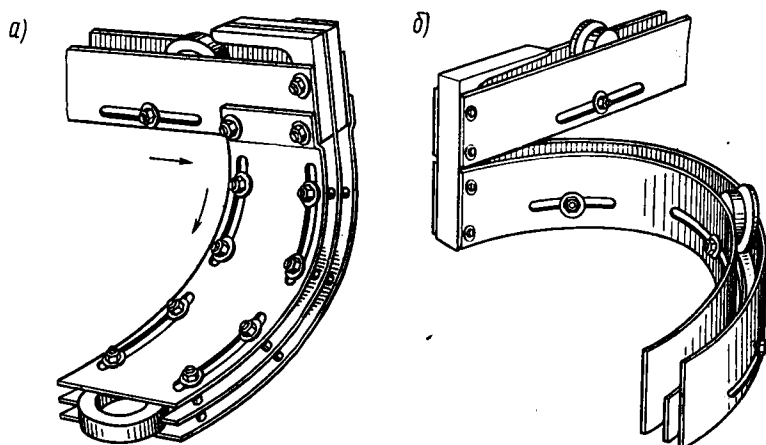


Рис. VII-13. Лотковые устройства для изменения ориентации транспортируемых изделий:

а — изменение ориентации на 90°; б — изменение ориентации на 180°

можно перекрывать отверстия, регулируя тем самым проход масла. При конструировании масляных замедлителей необходимо учитывать, что при замедлении поршень двигается не вверх, а вниз. В противном случае масло из цилиндра постепенно выталкивается, так как цилиндрическая крышка делается с большим зазором, без уплотнений штока. Все части замедлителя делаются как можно легче. Описанный гидрозамедлитель применяется для открытых лотков и сравнительно легких изделий.

На рис. VII-14, б показан гидравлический замедлитель более совершенной конструкции, применяемый в закрытом лотке. Замедляющий рычаг в этом гидрозамедлителе расположен снизу лотка 11, для чего в лотке предусмотрен вырез, в котором свободно проходит одно плечо рычага 9. На другом плече крепится контргруз 12, поддерживающий рычаг в положении, указанном на рисунке. Это положение фиксируется упорным винтом 13, ввернутым в ушко кронштейна 14.

Рычаг связан со штоком гидропоршневого механизма, который состоит из цилиндра 4, заполненного маслом, крышки 8 и штока 1,

на конце которого крепится поршень. Поршень состоит из нижнего диска 2, в кольцевую выемку которого вложен пластинчатый клапан 3 в виде тонкого кольца. Та часть диска, в которую входит пластинчатый клапан, выполнена в виде звездочки со сквозными вырезами, а немного ближе к центру сделаны отверстия, расположенные по окружности. Сверху поставлен диск 5, имеющий два ряда отверстий, один расположен против пластинчатого клапана, а другой — против отверстий нижнего диска 2. Поверх диска 5 установлен регулировочный диск 6 и отражатель 7. Этот диск снабжен отвер-

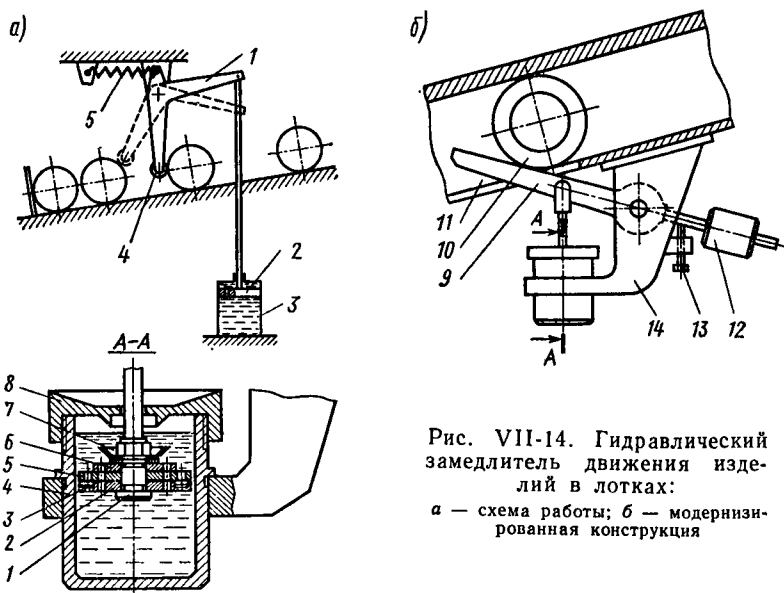


Рис. VII-14. Гидравлический замедлитель движения изделий в лотках:
а — схема работы; б — модернизированная конструкция

ствиями, совпадающими с отверстиями дисков 2 и 5. Поворачивая регулировочный диск, можно перекрывать отверстия и регулировать поток масла.

Работа гидрозамедлителя заключается в следующем. Изделие 10 при движении наталкивается на рычаг 9 и тормозится, заклиниваясь между верхней стенкой лотка 11 и рычагом 9, который затем начинает медленно отклоняться вниз, нажимая на гидропоршневой механизм. Масло в цилиндре медленно перетекает через зазор между диском 5 и внутренней поверхностью цилиндра, а также через сквозные отверстия дисков 2, 5, 6. Струйки масла направляются отражателем к стенкам цилиндра. Второй ряд отверстий диска 5 при этом перекрывается пластинчатым клапаном 3.

Как только конец рычага выходит из лотка и изделие катится дальше, вся система занимает прежнее положение под действием контргруза 12. При этом поршень движется значительно быстрее, чем в первом случае, так как пластинчатый клапан опускается вниз и открывает для прохода второй ряд отверстий. Масло в цилиндр заливается через выемку крышки 8.

Опыт эксплуатации транспортных систем с гибкой межагрегатной связью показывает, что несмотря на конструктивную простоту, отсутствие приводных звеньев, кинематических пар и трущихся сопряжений лотковые транспортирующие устройства являются одними из самых ненадежных целевых механизмов автоматических линий. Большинство отказов связано с застреванием изделий из-за нестабильности геометрических размеров изделий и лотков, их засорения, загрязнения и т. п.

Вследствие засорения лотков стружкой, чему способствуют смонтированные на лотках желоба для отвода охлаждающей жидкости, кольца подвержены большой застреваемости. Для устранения этих неполадок применяют различные способы: проталкивание колец крюком, встряхивание и раскачивание лотков, ударение металлическим прутом по лотку и т. д. Со временем такие действия приводят к тому, что борта лотков деформируются, изменяется угол наклона лотков, появляются перекосы и изменение размеров ширины.

Для того чтобы обеспечить надежную проходимость заготовки высотой H (рис. VII-15, а), ширина лотка B должна находиться в определенных пределах при неперменном условии $B > H$, $\Delta > 0$, т. е. зазор между стенками лотка и заготовками должен быть явно положительной величиной. Минимально допустимая величина зазора $\Delta_{\min}$ определяется возможным загрязнением стенок лотка. Максимально допустимый зазор $\Delta_{\max}$ определяется условиями перекоса заготовок, их разворота в лотке и возможного заклинивания. Для некоторых типов заготовок, например колец конических подшипников с высотой буртов h , условия заклинивания и застревания в лотках связаны, кроме того, с вероятностью западания буртов друг за друга (рис. VII-15, б), когда величина зазора Δ становится близкой высоте бурта h ($h \approx \Delta$, $z \rightarrow 0$).

Особенно благоприятные условия для застревания заготовок в лотках существуют в местах их скопления (перед отсекающими, заслонками и т. д.).

На рис. VII-16 приведены экспериментальные зависимости вероятности застревания изделий колец конических подшипников в прямолинейных лотках от ширины лотка B , количества штук изде-

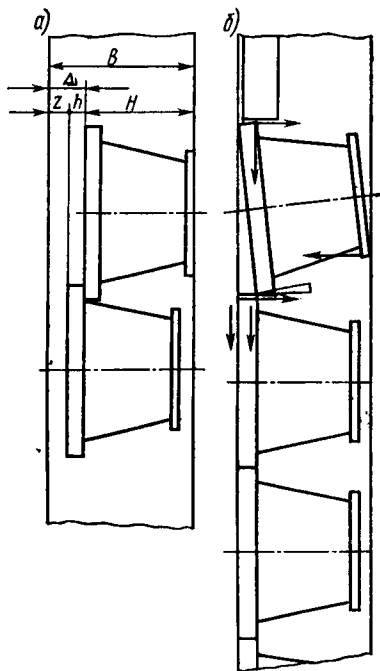


Рис. VII-15. Схема возникновения отказов в лотковых системах:

а — расчетная схема; б — расположение изделий при транспортировании

лий, скопившихся перед отсекателем n , угла наклона лотка α и радиуса изгиба лотка R_R . Номинальная высота кольца $H = 34,2$ мм. Как видно, для обеспечения высокой проходимости размеры лотка по ширине должны быть выдержаны с высокой точностью. Так, для лотков с радиусом изгиба $R = 400$ мм при ширине лотка $B < 35,5$ мм начинается зона интенсивного застревания изделий из-за загрязнения боковых стенок, вследствие чего реальный зазор становится равным нулю или отрицательным. Увеличение ширины лотка $B > 36,3$ мм вызывает вероятность заклинивания изделий из-за западания буртов (см. рис. VII-15, б). Таким образом, для того чтобы обеспечить надежную проходимость заготовок (вероятность застревания близка нулю), размеры лотка по ширине необходимо выдерживать в весьма узких пределах $B = 35,9 \pm 0,4$ мм.

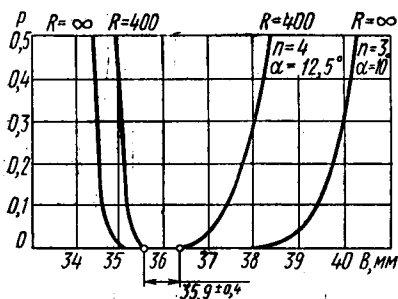


Рис. VII-16. Экспериментальная диаграмма зависимости вероятности застревания изделий от ширины и радиуса лотка

Если ширина лотка будет в пределах $B = 35,2—37,4$ (стабильность ширины $\Delta B = \pm 1,1$ мм), вероятность застревания колец будет уже $p = 0,1$, т. е. каждая десятая заготовка будет застревать при прохождении лотка, что совершенно недопустимо.

Эксплуатационные исследования работоспособности действующих автоматических линий показывают, однако, что ширина лотков весьма нестабильна. Как показали исследования, первичная нестабильность, обусловленная погрешностями изготовления и сборки, в процессе эксплуатации неизбежно увеличивается из-за процессов коробления, разрегулирования разъемных соединений, изнашивания и т. д.

В результате номинальные зазоры между стенками лотков и изделиями, которые обеспечивают надежную их проходимость, не выдерживаются.

На рис. VII-17 показаны диаграммы рассеивания ширины пяти одинаковых отводящих лотков (1—5) токарного участка автоматического цеха конических подшипников на ГПЗ после четырех лет эксплуатации. Замеры фактической ширины лотков проведены по всей их длине с интервалом 100—150 мм ($N = 20$ замеров). Здесь же нанесены номинальные размеры ширины лотков ($B_n = 35,3$ мм) и высоты колец ($H_n = 33,3$ мм). Как видно, во всех пяти лотках есть зоны, где вследствие значительного увеличения ширины создаются условия для разворота и заклинивания колец при их прокатывании или останове. В трех из пяти лотков (1, 4, 5) имеется сужение лотков, в результате ширина лотка оказывается меньше номинальной высоты колец, что предопределяет их застревание.

Вероятность непрохождения изделий в лотках увеличивается с увеличением рассеивания размеров изделий. Согласно рекомендациям

МСКБ АЛ и СС для безотказного прохождения изделий по лоткам зазоры между кольцом и боковой стенкой лотка должны быть: для цилиндрических колец 4—8 мм, но не более $\frac{1}{3}$ высоты кольца; для конических — не более $\frac{1}{3}$ высоты бурта, на котором катится кольцо.

Рассмотрение диаграмм (рис. VII-17) показывает, что в реальных линиях эти условия не соблюдаются, в результате кольца с минимальными размерами по высоте разворачиваются и заклиниваются в широких участках лотков, а кольца с максимальными размерами застревают на суженных участках лотков.

Исследования показывают, что вероятность непроходимости существует уже в новых системах; в дальнейшем она увеличивается за счет изменения ширины лотков в процессе эксплуатации транспортных систем, а также неизбежного загрязнения базовых поверхностей. При этом на токарных участках слой загрязнения весьма незначителен, отказы обусловлены нестабильностью размеров заготовок; на шлифовальных участках слой загрязнения абразивом и другими включениями достигает 1 мм на сторону. В ряде случаев слой при длительной эксплуатации оказывается значительной плотности и не поддается обычным способам устранения (прочистка щетками, промывка водой и т. д.). В результате интенсивность отказов лотковых систем, несмотря на простоту их конструкции, отсутствие рабочих нагрузок, приводных механизмов и трущихся пар, оказывается весьма высокой, а в ряде случаев превышает интенсивность отказов основного технологического оборудования. Поэтому в последнее время наметилась тенденция к возврату к неразъемным конструкциям лотковых систем, которые менее технологичны и более металлоемки, но меньше подвержены процессам старения, разрегулирования, потери жесткости.

Приведенные примеры показывают, что причины отказов в работе весьма разнообразны, их нельзя свести к общепринятым категориям

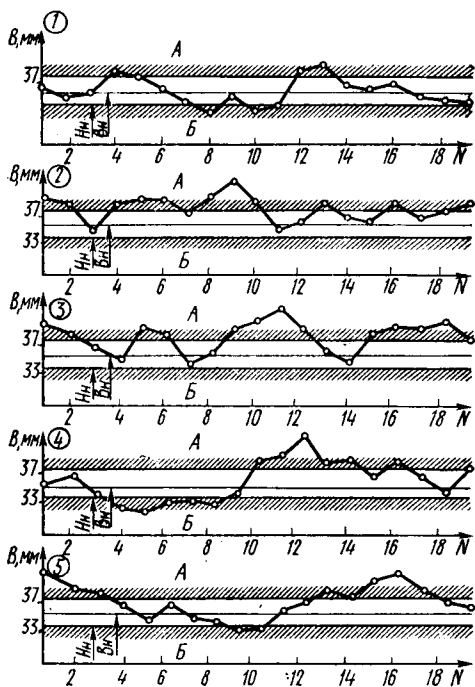


Рис. VII-17. Экспериментальные диаграммы рассеивания ширины лотков транспортных систем автоматических линий:

1—5 — номера лотков; А — зона ширины лотка высокой вероятности застревания конических колец; Б — зона непроходимости колец

износа и потери усталостной прочности. Поэтому совершенствование транспортных систем, отбор наиболее перспективных решений механизмов и устройств невозможен без анализа и оценки их сравнительной надежности в работе. Это требует, с одной стороны, разработки методики испытаний на надежность в производственных и лабораторных условиях, с другой — разработки методов расчета и выборов конструктивных параметров по критериям не только прочности, кинематики, но и надежности в работе.

§ 5. ОТВОДЯЩИЕ ТРАНСПОРТЕРЫ

Функцией отводящих транспортеров является соединение потоков обрабатываемых изделий, поступающих через лотковые системы от параллельно работающих станков, и передача их на следующий технологический участок. В ряде автоматических линий отводящие транспортеры конструктивно объединены с транспортерами-распределителями (см. рис. VII-1), однако обычно они komponуются независимо (см. рис. VII-2) и имеют значительные конструктивные отличия.

Типовая конструктивная схема отводящего транспортера изображена на рис. VII-18, *а*. По концам корпуса 1 смонтированы натяжная 2 и приводная 4 звездочки, через которые переброшена замкнутая цепь 3 с пластинами. Цепь приводится в движение от индивиду-

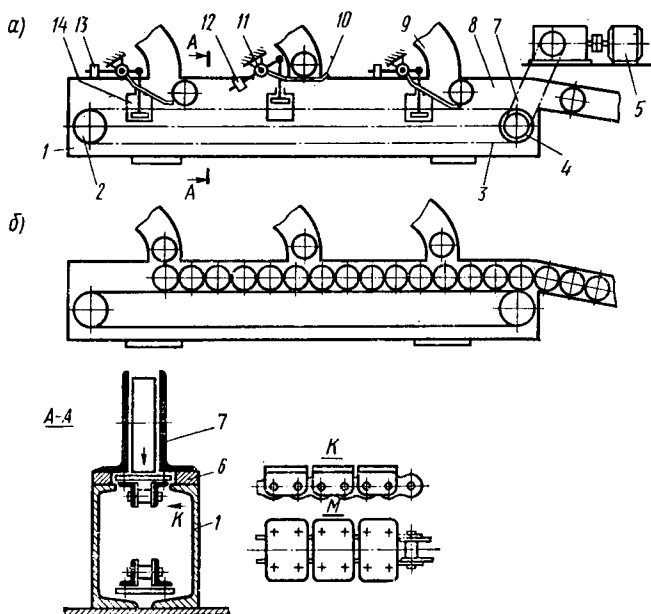


Рис. VII-18. Отводящий транспортер:

а — общая схема; б — схема заполнения транспортера изделиями

ального привода 5. Пластины цепи рабочей ветви опираются на корпус и направляются планками 6. Пластины холостой ветви свободно опираются на нижнюю часть корпуса транспортера. Сверху корпуса 1 установлен лоток 8, идущий вдоль всего корпуса, кончающийся лотком выдачи 7, сверху продольного лотка смонтированы приемные лотки 9, в каждый из которых поступает поток обработанных изделий от одного станка.

Каждый лоток снабжен планкой 10, перекрывающей выходное отверстие лотка. Планка находится на оси 11 вместе с двуплечным рычагом 12, одно плечо которого снабжено грузом 13, а другое соединено со штоком поршня гидрозамедлителя 14. Система уравнивается грузом 13, который в случае отклонения планки на некоторый угол возвращает ее в прежнее положение.

Изделия поступают в лоток приема 9 самотеком. На пути изделие встречает препятствие в виде планки 10. Сила удара и веса изделия передается поршню замедлителя. Масло, находящееся в гидрозамедлителе, препятствует быстрому движению поршня, вследствие чего планка 10 под действием веса изделия медленно отклоняется до тех пор, пока изделие спокойно не скатится на цепь транспортера. После этого планка под действием груза принимает исходное положение. Попав на движущуюся цепь, изделие перемещается поступательно и одновременно вращается в обратном направлении, так как контактирует не только с пластинками цепи, но еще и с боковыми стенками продольного лотка. В результате этого скорость перемещения изделия оказывается меньше скорости движения цепи.

На транспортере может быть поставлено несколько приемных лотков. Тогда изделия, поступающие на цепь транспортера из задних лотков, будут проходить под планками последующих лотков, причем если в них в этот момент попадают изделия, то последние выкатываются на транспортер тогда, когда из-под планок выходят проходящие мимо изделия. Если из транспортера изделия не выходят, то они накапливаются в продольном лотке. При этом пластины цепи проходят под катящимися изделиями. Продольный лоток транспортера заполняется до тех пор, пока все приемные лотки 9 последовательно не перекроются изделиями (рис. VII-18, б). Затем каждый приемный лоток последовательно заполняется поступающими от станков изделиями до установленного уровня. При этом каждый станок выключается. Как только начинается потребление изделий, первым открывается задний приемный лоток, затем последовательно открываются другие лотки, станки вновь включаются.

Отключение и включение станков производится посредством датчиков, устанавливаемых на продолжении приемных лотков.

Конструктивно транспортер состоит из отдельных узлов, позволяющих компоновать транспортеры различной длины.

Опыт эксплуатации линий с гибкой связью показывает, что наименее надежными узлами отводящих транспортеров являются механизмы приема изделий на транспортер. Поэтому намечается тенденция упрощения конструкции, в том числе устранение гидрозамедлителей и пластин цепи, унификация конструктивных элементов.

Это нашло отражение в ряде конструкций, одна из которых приведена на рис. VII-19. Транспортёр включает натяжную секцию 1, промежуточные секции 2, 3 и 4 различной длины, приводную секцию 5, редуктор 6, натяжную плиту 7, транспортирующую цепь 9, механизм контроля 8 и загрузочные лотки 10. Детали из лотка 10 подаются на двухрядную роликовую транспортирующую цепь, снабжённую двумя флажками 11, и перемещаются по ней в направлении от натяжной секции к приводной, поддерживаемые специальными ограничивающими планками, устанавливаемыми по ширине и диаметрам деталей. Лоток загрузки (рис. VII-18, б) для регулировки под размеры деталей имеет подвижную 14 и неподвижную 16 стенки и простановочные втулки 15. Язык 17, отклоняясь вниз под тяжестью детали, предохраняет транспортирующую цепь от ударов, как в случае правого 18, так и левого 19 исполнения конструкции лотка. Флажки периодически нажимают на концевой переключатель 20, который управляет отсекающими 21, обеспечивая одновременную выдачу деталей из всех лотков в транспортёр. При скоплении деталей на выходе транспортёра флажок приподнимает отдельную деталь, механизм контроля срабатывает и транспортёр останавливается. В случае заклинивания деталей транспортёр останавливается благодаря срабатыванию зубчатой предохранительной муфты 22 и конечного переключателя 23.

В линиях с гибкой связью нашли применение и другие конструкции отводящих транспортёров, где функции отвода объединены с распределением изделий.

Опыт эксплуатации многих линий, а также специально проведенные исследования их работоспособности показывают, что интенсивность отказов отводящих транспортёров весьма высока, что объясняется рядом причин, в первую очередь — повышенным загрязнением вследствие нижнего расположения (на уровне фундаментов станков), а также ударными нагрузками при падении и скатывании изделий. Наблюдения показывают, что в отводящих транспортёрах наибольшее число отказов происходит из-за застревания изделий в местах их подачи на цепь транспортёра.

Канал отводного транспортёра состоит из направляющих планок 1, 2, 3, 4 (рис. VII-20, а), корпуса и транспортной втулочно-роликовой цепи 5. Поступая из отводящего лотка 7, кольцо 6 из-за несимметричной формы и неустановившегося движения может своими буртами попасть на одну из нижних направляющих, не достигнув цели.

Нередко наблюдается застревание колец в канале отводящего транспортёра (рис. VII-20, б) по причине разрегулировки опорных направляющих 8, осевого смещения цепи 5 вследствие износа ее звеньев, износа и разрегулирования направляющих 1, 2, 3, 4 по длине. Поэтому бурт кольца 6 западает в образовавшуюся щель между средними пластинками цепи 5 и нижней направляющей 3. При перемещении на участок меньшего износа направляющих происходит защемление бурта кольца, что приводит к его стопорению. Появляющиеся

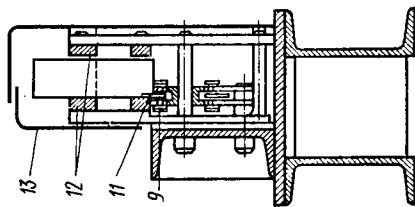
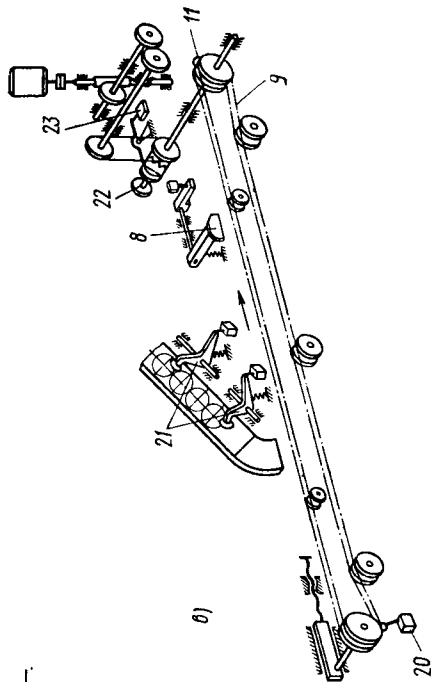
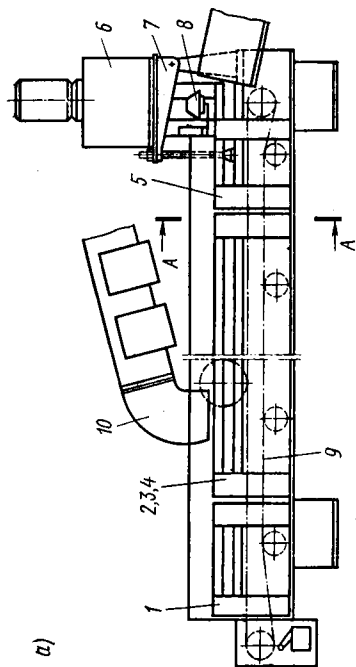
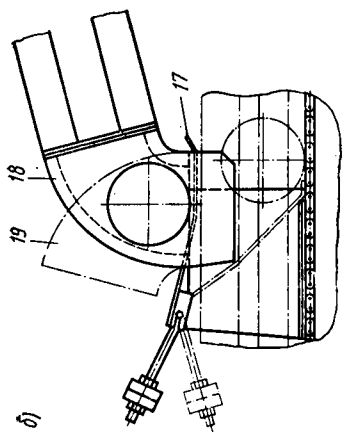
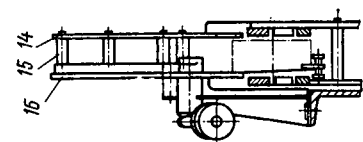


Рис. VII-19. Модернизированный отводящий транспортер:
а — общий вид; б — механизм приема; в — кинематическая схема

ся дополнительные силы реакции увеличивают износ элементов направляющих и цепей, что ведет к увеличению зазора и западанию буртов.

При неизбежном загрязнении направляющих трение торцов изделий о направляющие может возрасти настолько, что изделия вращаются, не перемещаясь (рис. VII-20, в).

Неточная сборка и разрегулировка узлов отводящего транспортера также является характерной причиной застревания колец. На

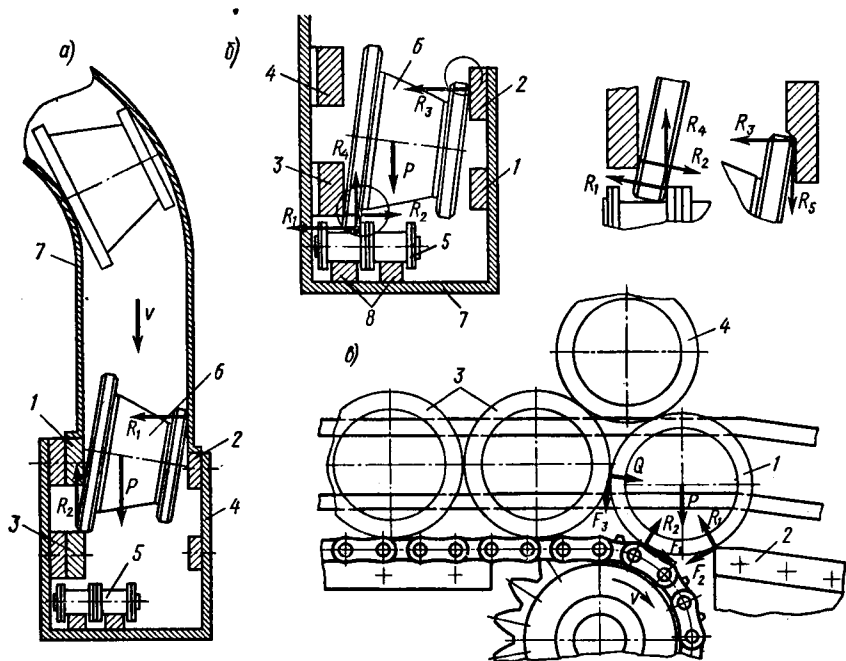


Рис. VII-20. Схемы возникновения отказов отводящих транспортеров:
а — при приеме изделий на транспортер; б — при разрегулировании направляющих транспортера; в — при выдаче изделий с транспортера; R — опорные реакции; F — силы трения; P — сила веса; Q — движущая сила; v — направление скорости

рис. VII-20, в показан пример, когда кольцо 1 останавливается, упираясь в высоко расположенный выступ лотка 2, усилие от последующих перемещаемых колец может оказаться недостаточным для его смещения. Скопившиеся кольца 3, 4 в канале отводного транспортера перед подъемником силами трения движущей цепи начинают вытесняться из ряда и выпадать из канала.

§ 6. МЕХАНИЗМЫ НАКОПЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Накопление межоперационных заделов в линиях с гибкой межагрегатной связью происходит практически во всех элементах транспортной системы (на транспортере-распределителе, в подводящих

и отводных лотках станков, на отводящем транспортере и др.). Поэтому установка специальных автоматических накопителей заделов особенно для средних и крупных изделий предопределяется не только необходимостью компенсации несовпадающих простоев соседних станков и участков, но и в первую очередь несовпадением их номинальной производительности.

Накопители большой вместимости должны быть установлены, например, между токарными и термическими участками, поскольку первые работают обычно в две смены, а вторые — непрерывно. В линиях для мелких изделий накопители выполняются в виде бункерных ус-

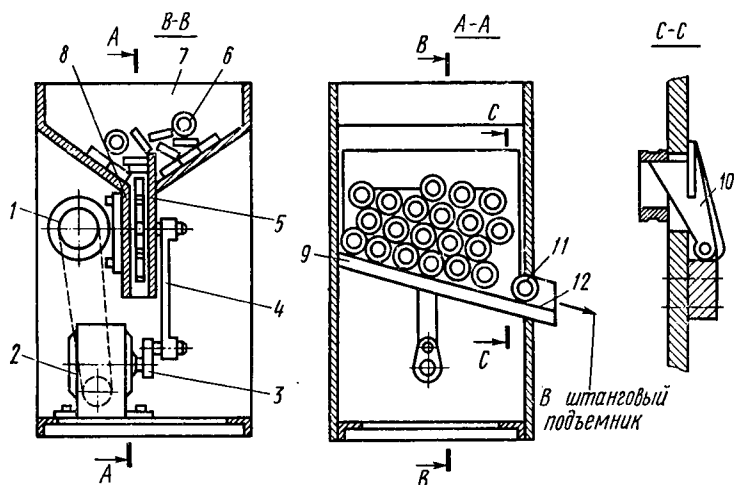


Рис. VII-21. Бункер-накопитель

тройств, во всех остальных линиях — как магазины (без потери ориентации).

Любой бункер или магазин-накопитель автоматически выполняет следующие функции:

а) только принимает изделия из предыдущего станка или участка, так как в это время последующий станок (участок) может не работать (работа на накопление);

б) только выдает изделия в последующий станок (работает на расход), так как в это время предыдущий станок может не работать;

в) принимает изделия с предыдущего станка и выдает их в последующий станок, т. е. работает напрямую, причем прием и выдачу осуществляет в одинаковом или разных темпах, так как предыдущий и последующий станки могут иметь различную производительность.

Для межоперационных заделов изделий простейшей формы применяются бункера с шиберной подачей (рис. VII-21). От электродвигателя 1 через редуктор 2, кривошип 3 и шатун 4 движение передается плоскому шиберу 5. Совершая возвратно-поступательные дви-

жения, шибер шевелит кольца 6 в бункере 7 и направляет их в щель, образованную стенкой 8 и шибером 5. По наклонному дну 9 кольца поступают к выходному окну 11. С целью устранения сводов, образуемых кольцами между стенкой бункера и дном 9, перед выходным окном 11 на шибере закрепляется подпружиненная собачка 10, которая непрерывно рушит образующиеся своды и позволяет кольцам по лотку 12 поступать в штанговый подъемник. Угол наклона дна выбирается в пределах 30—35°.

Межоперационные магазины-накопители, применяемые в линиях с гибкой связью, при всем многообразии конструктивных решений могут быть отнесены к нескольким типам, которые отличаются между собой принципом перемещения изделий внутри накопителя, количеством ярусов (секций) и т. д.

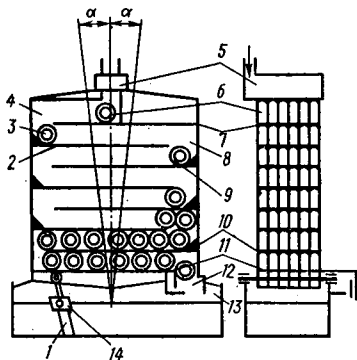


Рис. VII-22. Магазин-накопитель качающегося типа

Простейшие магазины-накопители идентичны по конструкции обычным зигзагообразным лоткам с гравитационным перемещением изделий (см. рис. VII-11) и отличаются от них наличием нескольких одинаковых секций, что увеличивает вместимость, а также дополнительными механизмами управления (рис. VII-22).

Накопитель состоит из разделенного по вертикали на секции контейнера с горизонтальными полками, загрузочно-распределительного и разгрузочного узлов. Кольца через гибкую связь и загрузочно-распределительный узел 5 входят в верхнее окно контейнера (в каждую секцию по одному кольцу одновременно) и занимают положение 6 на полке 7. При наклоне контейнера влево на угол α кольца перекачиваются по полке 7 и через окно 4 опускаются на полку 2 и занимают положение 3. При наклоне контейнера вправо на угол кольца на полке 2 и через окно 8 переходят на полку 9. При непрерывном поступлении их через верхнее окно и качании контейнера перекачивание колец с верхней полки на следующую нижнюю происходит до полного заполнения контейнера, как показано на позициях 10 и 11.

При разгрузке кольца, находящиеся в нижнем окне 12, через разгрузочный узел 13 выдаются на позицию обработки (из каждой секции по одному изделию одновременно). При качании контейнера кольца с полки 10 перемещаются на полку 11; все остальные полки пополняются кольцами, лежащими на верхней полке. Качание контейнера осуществляется от гидроцилиндра 1, подвешенного к станине на оси 14.

Стремление обеспечить большую компактность накопителей в сочетании с достаточной вместимостью привело к созданию конструкций с принудительным перемещением обрабатываемых изделий в специальных лотках, в ячейках цепи и т. д.

На рис. VII-23 показан многоярусный спиральный магазин-накопитель большой вместимости, который состоит из основания 1, приводной станции 2, приводной колонны 3, вращающейся вместе с дисками 4 лотков 5. Спиральные лотки, между стенками которых происходит накопление деталей, изготавливаются из полированной термообработанной пружинной спиральной ленты. Ленты укладываются в спираль благодаря прорезам в траверсах 6, закрепленных на четырех стойках 7. Магазин-накопитель работает следующим образом. Детали в ориентированном виде попадают в центральную часть верхнего диска. Так как все диски постоянно вращаются вместе с колонной 3, то детали, не меняя своего положения, перемещаются вместе

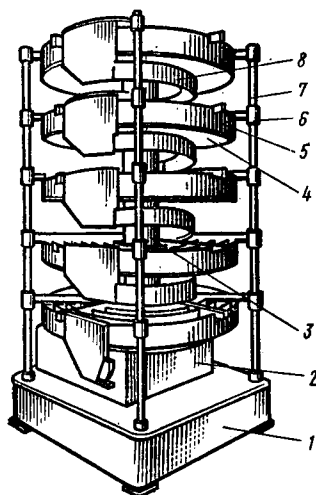


Рис. VII-23. Магазин-накопитель со спиральными лотками

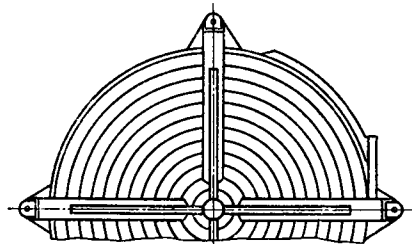
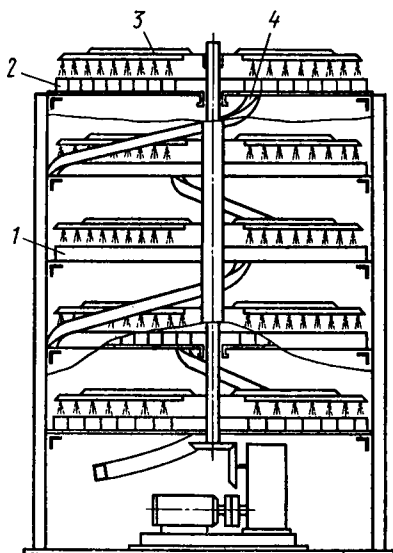


Рис. VII-24. Магазин-накопитель с вращающимися щетками

с колонной от центра диска к краям, затем проваливаются на соединительный лоток 8 и попадают в центр следующего диска. С нижнего диска детали выдаются в лоток, идущий непосредственно к станку или подъемнику. Поскольку диски накопителя постоянно вращаются, то они подвержены интенсивному износу, в результате чего детали, наезжая на неровности, могут выпучиваться и выпадать либо из лотков, либо заклиниваться. Детали, трущиеся о диски, могут терять качество обработанной поверхности.

Указанные недостатки устраняются при перемещении деталей в спиральных лотках накопителя при помощи вращающихся щеток.

Накопитель (рис.VII-24) состоит из ряда дисков 1, расположенных ярусами друг над другом. Каждый диск 1 несет спиральные желоба 2. Кольца поступают на периферию верхнего диска и при помощи вращающейся крестовины 3 с капроновыми щетками перемещаются по спирали к центру, заполняя всю площадь диска.

Кольца, прошедшие по спирали к центру, попадают в наклонный лоток 4 и по нему скатываются на периферию следующего диска. С последнего диска кольца поступают в подъемник следующего участка обработки деталей. Общим признаком всех трех рассмотренных конструкций является базирование накапливаемых изделий по нижней точке и боковым поверхностям в прямолинейных и спиральных лотках. Учитывая практическую невозможность выдерживания точной ширины лотков в процессе их изготовления, сборки и особенно длительной эксплуатации (см. § 4), это является существенным недостатком, особенно для накопителей на черновых операциях. Поэтому требуются новые конструктивные решения базирования и перемещения изделий в накопителях без лотковых устройств, чтобы исключить заклинивание и застревание изделий.

Одним из возможных решений является транспортирование изделий внутри накопителя в подвешенном состоянии на штырях в захватах и т. д. На рис. VII-25 показана общая схема накопителя цепного типа со стержнями, на которые навешиваются обрабатываемые изделия типа колец (рис. VII-25, а).

На станине смонтированы звездочки 1 привода, направляющие звездочки 2, узел натяжки цепей 3; автоматический узел 4 навески и узел 5 съема деталей, транспортно-накопительный орган 6, состоящий из двух втулочно-роликовых цепей с прикрепленными к ним стержнями.

Конструктивная схема механизма приема колец приведена на рис. VII-25, б.

Детали поступают в подводящий лоток 8 и через отсекаТЕЛЬ 9 по одному попадают на приемную призму 11 качающегося питателя 10.

При подходе стержня 7 ролик толкателя 12 попадает во впадину кулачка 13; пружина 14 подводит питатель 10 к стержню 7 и деталь надевается на стержень. Толкатель 12 возвращает питатель 10 в исходное положение, поворачивая при этом отсекаТЕЛЬ 9. При подходе заполненного деталями стержня 7 к питателю 10 последний упирается в детали выступом, расположенным на приемной призме 11, и останавливается.

Питатель 10 вместе с деталью возвращается в исходное положение. Новая деталь в питатель 10 не поступает, так как отсекаТЕЛЬ 9 не совершает полного хода.

Выдача деталей (рис. VII-25, в) производится толкателем 16 и при помощи сталкивающего кольца 15. При подходе стержня 7, заполненного деталями, к толкателю 16 кольцо 15 буртиком входит между прямоугольными пластинками 17, свободно надетыми на толкатель 16 между двумя жесткими упорами, отклоняя пластинки, находящиеся против буртика. В этот момент ролик

рычага 18 попадает во впадину кулачка 19 и пружина 20 подает толкатель 16 вперед, сталкивая крайнюю деталь на стержне 7 в приемный лоток 21. Сталкивающее кольцо 15 выходит из контакта с толкателем 16, который рычагом 18 возвращается в исходное положение. При заполнении приемного лотка 21 ощупывающая штанга 22 упирается в деталь и блокирует работу толкателя 16.

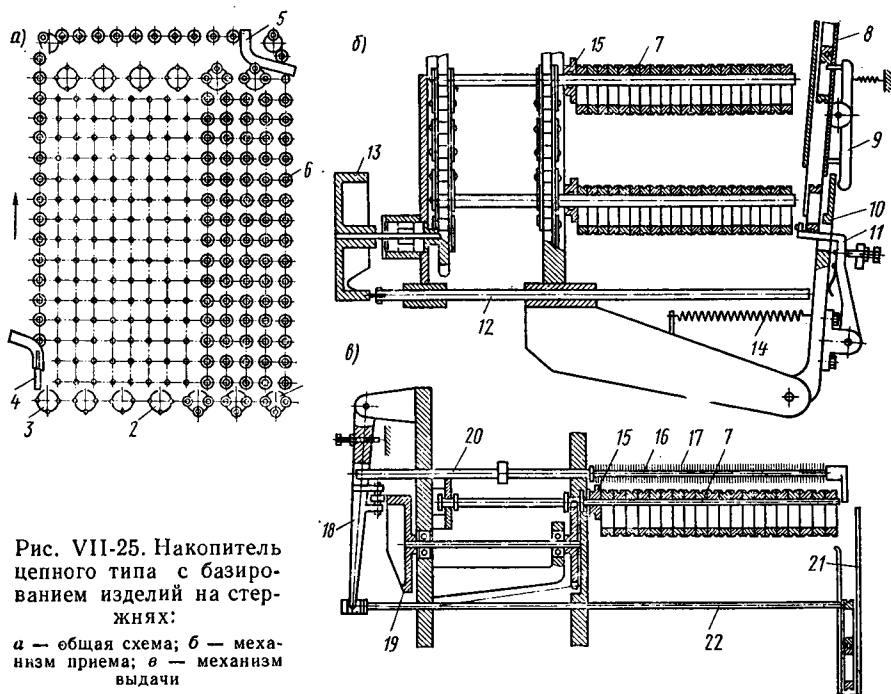


Рис. VII-25. Накопитель цепного типа с базированием изделий на стержнях:

а — общая схема; б — механизм приема; в — механизм выдачи

Как видно, магазин представляет собой компактный накопитель с несложным устройством привода. Однако эксплуатация выявила ненадежное срабатывание механизма съема колец, так как консоли стержней имеют недостаточную жесткость и могут прогибаться под действием нагрузок особенно при длительной эксплуатации.

Рассмотренные выше типовые примеры целевых механизмов автоматических линий с гибкой межагрегатной связью свидетельствуют о большой вариативности возможных конструктивных и схемных решений, каждое из которых обладает специфическим сочетанием преимуществ и недостатков. Главными определяющими факторами при выборе того или иного варианта являются быстродействие, стоимость и надежность в работе. В еще большей степени эти факторы имеют значение при компоновке автоматических линий (см. гл. IX).

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ
И МАНИПУЛЯТОРЫ

В течение длительного времени автоматизация производственных процессов в машиностроении особенно на высших ступенях, связанных с созданием автоматических систем машин, развивалась применительно к решению задач массового поточного производства. В соответствии с этим подавляющее большинство автоматических линий строились как специальные и специализированные конструкции для производства одного изделия или с возможностями переналадки на узкий диапазон однотипных изделий. Поэтому в машиностроении сложились типовые функциональные, структурные и конструктивные решения основных задач автоматизации транспортно-загрузочных операций и автоматизации управления.

Так, управление линиями осуществляется на основе систем управления упорами (см. гл. V); достаточно широкое применение получили и комбинированные решения, где управление рабочим циклом отдельных машин производится посредством систем с распределительным валом и кулачками или копировальных систем, а межагрегатное управление, блокировка и синхронизация — на электрической основе, с помощью средств локальной автоматики.

Транспортно-загрузочные системы автоматических линий с жесткой межагрегатной связью строятся с использованием таких устройств, как шаговые транспортеры, загрузчики и перегружатели, поворотные устройства (см. гл. VI). Для автоматических линий с гибкой межагрегатной связью такими типовыми механизмами являются транспортеры-подъемники, транспортеры-распределители, автооператоры для загрузки станков и съема обработанных изделий, лотковые системы, отводящие транспортеры (см. гл. VII).

Отличительными особенностями всех этих механизмов и устройств, особенно механизмов автоматической загрузки и съема, являются специализация и встраиваемость. Устройства конструктивно связаны с соответствующими технологическими агрегатами и работают с ними в едином взаимосвязанном цикле.

Узкая специализация конструкций транспортно-загрузочных механизмов вследствие отсутствия переналадок обуславливает минимальное число степеней свободы (не более двух-трех), простейшие траектории перемещений, конструктивную простоту и относительно невысокую стоимость. Однако все эти методы и средства, как правило, оказываются непригодными для решения задач автоматизации се-

рийного производства, создания автоматических систем машин с высокой степенью универсальности и мобильности, с возможностями быстрой переналадки на широкий диапазон типоразмеров обрабатываемых изделий.

Создание даже отдельных единиц автоматизированного технологического оборудования с широкими возможностями переналадки потребовало применения принципиально новых систем управления машин на электронной основе — систем числового программного управления и от ЭВМ (см. гл. V). Массовое применение и совершенствование систем числового программного управления позволило создать основу для применения таких систем для управления и другими типами объектов — в частности элементами транспортно-загрузочных систем. Это позволяет создавать транспортные и загрузочные устройства с широким диапазоном переналадки на различные схемы перемещений, скорости и величины ходов. Если создавать такие устройства с большим числом степеней свободы и неистраиваемыми, т. е. конструктивно независимыми от основного технологического оборудования, получаются универсальные средства автоматизации вспомогательных операций.

В настоящее время такие устройства, представляющие собой неистраиваемые конструкции автооператоров с большим числом степеней свободы (до шести и более), управляемые средствами программного управления, называются промышленными роботами. Таким образом, появление промышленных роботов явилось дальнейшим закономерным этапом развития механизмов и систем для автоматической загрузки и транспортировки изделий. Их развитие и совершенствование открывает новые возможности, связанные с использованием принципов самообучения и самоорганизации, «очувствлением» устройств и т. д.

В настоящее время большинство известных конструкций промышленных роботов существуют как опытные образцы, наличие которых не оказывает пока существенного влияния на повышение эффективности машиностроительного производства. Для того чтобы потенциальные возможности промышленных роботов были в той или иной степени реализованы в эксплуатационных условиях, необходимо решение целого ряда проблем:

1. Создание простых и удобных в наладке конструкций промышленных роботов, включая захватные устройства, привод и передающие звенья, при обеспечении достаточно высокого уровня их эксплуатационной надежности. Опыт автоматизации показывает, что механизмы автоматической загрузки и съема изделий, их перебазирования являются наименее надежными среди всех механизмов и устройств технологического оборудования. Так, в токарных многошпиндельных автоматах, обрабатывающих штучные заготовки, отказы автооператоров даже простейшей конструкции составляют до 70% всех возникающих отказов [10]. В промышленных роботах ввиду усложнения конструкции, снижения общей жесткости из-за многозвенности задача обеспечения безотказности в работе особенно при высоком быстродействии

является весьма трудной. Ее решение требует больших конструкторских и экспериментальных работ, создания специфических методов расчета и исследования.

2. Создание систем автоматического управления роботами с использованием принципов автоматического регулирования, самообучения и т. д. Чем выше число степеней свободы системы, тем сложнее задачи обеспечения, с одной стороны, быстродействия, с другой стороны — высокой стабильности конечных перемещений (точности позиционирования), без чего функционирование промышленных роботов не может быть эффективным. При этом системы управления должны учитывать все динамические факторы, связанные с жесткостью звеньев и наличием зазоров, инерционными нагрузками, нестабильностью рабочих усилий при перемещении объектов. Закономерным представляется и следующий этап — переход в управлении роботами от средств локальной автоматики по жестко заданной программе к прямому управлению от ЭВМ, с оптимизацией выполняемых функций. Именно этим вопросам посвящено в настоящее время большинство работ, связанных с созданием промышленных роботов.

3. Оценка области экономически целесообразного применения промышленных роботов в производственных условиях. Неизбежная высокая стоимость и сложность самих роботов и систем их управления, необходимость в высококвалифицированном обслуживании, ограниченное быстродействие и другие недостатки не позволяют считать промышленные роботы всеобъемлющим средством для замены ручного труда при обслуживании машин.

С одной стороны, в условиях массового переналаживаемого производства все преимущества остаются на стороне специализированных устройств — автооператоров, шаговых транспортеров, механизмов питания из бунта и пруткового питания, магазинных и бункерных загрузочных устройств, которые и проще, и дешевле, и надежнее в работе.

С другой стороны, при эксплуатации многих видов универсального технологического оборудования, особенно при обработке средних изделий с малой длительностью обработки, с широким диапазоном переналадок, промышленным роботам трудно будет и впредь конкурировать с человеком по быстродействию, мобильности и гибкости реагирования на внешние возмущающие воздействия. Как и любые технические новшества, промышленные роботы должны найти свою рациональную область применения, и правильно определить ее — важнейшая проблема науки и техники.

§ 1. ФУНКЦИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ РОБОТОВ

В настоящее время, как показано выше, механизация ручных работ сдерживается отсутствием в промышленности эффективных универсальных средств автоматизации и механизации основных и вспо-

могательных, технологических и транспортных операций в условиях большой номенклатуры и частой сменяемости изделий. Робот — механическая система с манипуляционными устройствами, системой управления, комплексом чувствительных элементов и с средствами передвижения в пространстве. В роботах реализуется идея функционального моделирования производственных рабочих, занятых на различных технологических операциях производственного процесса.

На рис. VIII-1 показан в качестве примера робот ROKS-1 (Япония), который представляет собой устройство автоматической подачи с использованием пневмопривода и пульта управления со штеккерным полем для составления программы управления.

Механизмы робота выполняют следующие движения: передвижение корпуса робота вдоль основной оси; перемещение плеча вперед-назад; передвижение плеча вверх-вниз; поворот плеча в горизонтальной плоскости; зажим захватов плеча для закрепления детали; качание захватов относительно оси плеча.

Комбинирование указанных движений позволяет производить установку деталей в любых направлениях и положениях в пределах зоны действия робота. Независимость каждого действия, использование пневмопривода обеспечивает большое быстродействие робота. Устройство управления собрано в отдельном шкафу и задание программы работы робота производится последовательным вставлением штеккеров в ячейки на матричном наборном поле.

Блок-схема системы управления роботом приведена на рис. VIII-2. При вставлении штеккера в ячейку подключается релейная схема управления, которая включает через электромагнитный клапан соответствующий исполнительный механизм. Заданное положение механизма устанавливается конечными выключателями, которые подготавливают команду для выполнения очередного элемента цикла работы робота.

В общем случае робот включает в себя следующие основные элементы: манипуляционные устройства; систему управления; чувствительные элементы; средства передвижения.

Манипуляционные устройства робота — исполнительные органы, имитирующие действие человеческих рук в натуральном масштабе, с любым увеличением или уменьшением, а также с любым усилением по мощности.

Система управления (с ЭВМ или без нее) может иметь несколько уровней, аналогично различным ступеням нервной системы и мозга человека при выполнении им различных ручных операций; в простых

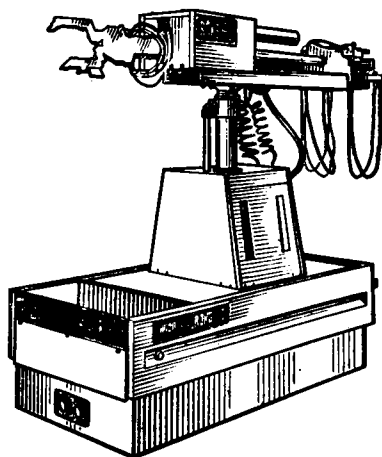


Рис. VIII-1. Робот ROKS-1

случаях — не думая, а в более сложных — с распознаванием предметов и планированием своих действий в зависимости от обстановки и намеченной цели.

Чувствительные элементы робота, подобно органам чувств человека, дают необходимые сигналы в систему управления о приближении «руки» к предметам, о прикосновении, о расположении и конфигурации предметов, если надо — о нагретости их, о цвете и т. д., включая искусственное зрение и слух, в том числе и за пределами человеческих ощущений (ультрафиолетовый или инфракрасный «цвет», ультразвук и пр.). Эти элементы позволяют роботу ориентиро-

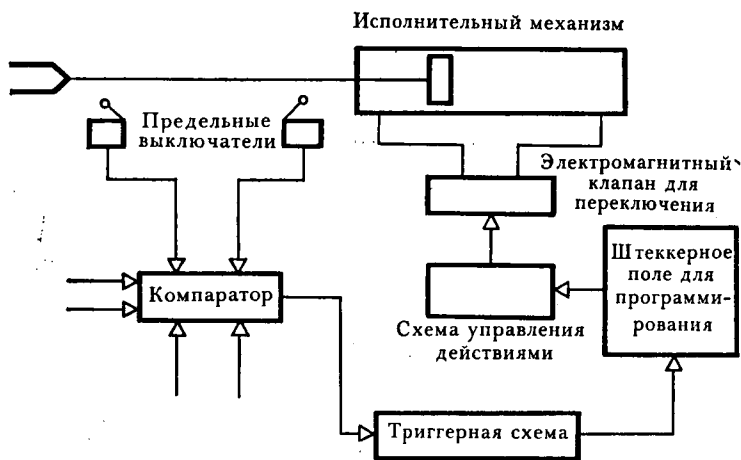


Рис VIII-2. Блок-схема системы управления роботом ROKS-1

ваться нужным образом для достижения определенных целей в среде, где он функционирует.

Средства передвижения робота могут быть любыми — в зависимости от его назначения: шагающие механизмы, устройства на колесах, на гусеницах или комбинации всех трех способов.

Для определения задач и места роботов в общей системе автоматизации и механизации, а также основных особенностей их функционирования проведем сравнительный анализ обычных автоматов и роботов.

Обычные автоматы с системой управления по жестко заданной программе предназначены для многократного совершения одной и той же операции. Характер операции может быть различным — дискретным или непрерывным, простым или сложным. Существенным является его предназначение для определенной операции, что экономически выгодно при массовом ее повторении в неизменном виде в течение всего срока службы автомата.

В отличие от такого автомата робот — гибкое и универсальное многоцелевое устройство. Один робот совершает целый ряд разнообразных операций. Если каждая операция реализуется роботом по

жесткой программе, то имеется возможность быстрой перестройки программы на другие операции, которые он способен выполнять. Но возможны также роботы-манипуляторы с адаптацией к обстановке и с самоперестройкой на необходимую смену операций, если момент такой смены не может быть заранее жестко запрограммирован. Возможны и роботы, работающие в полуавтоматическом режиме, когда человек, наблюдая за действиями робота, в сложных для него случаях кратковременно вмешивается в управление.

Универсальность действия робота-манипулятора обеспечивается также тем, что он имеет исполнительный механизм, имитирующий человеческую руку. Полнота имитации движений руки, т. е. количество звеньев и степеней подвижности, различна в зависимости от назначения робота. Кроме того, ее движения могут отличаться по характеру от движения руки человека, например, тем, что она не только вращается в суставах, но и движется поступательно. Кроме того, может изменяться длина некоторых ее звеньев (с помощью телескопического устройства). Кисть руки имитируется в виде захвата — двупалого, трехпалого и более. В кисть, в захват или вместо захвата может быть помещен различный сменный инструмент (рабочий и измерительный), который робот сам берет в нужные моменты из специальных гнезд, а затем кладет обратно.

Итак, робот — многоцелевая машина и отличается от обычного автомата гибкостью и универсальностью выполнения различных операций. Этим и определяются области его использования.

Современные системы автоматизации представляют собой обычно тесно взаимосвязанный комплекс различных технических средств. Поэтому включение робота в такую систему часто невозможно или невыгодно без предварительного анализа работы всей системы и может быть некоторого ее изменения.

Роботы вообще, и в том числе роботы-манипуляторы, не просто улучшают те или иные свойства системы. Они способны придать ей принципиально новые качества. Их применение во многих случаях может сделать целесообразным коренное изменение организации работы на данном объекте, существенно повысить эффективность действия всей системы. Такие вопросы должны быть специально проработаны в каждом случае применения роботов-манипуляторов. Конечно, возможны и индивидуальные применения роботов-манипуляторов.

В отличие от автоматизации с помощью специализированных автоматических устройств автоматизация с применением роботов имеет ряд преимуществ: не требует длительных сроков на ее внедрение; не требует больших затрат при переводе робота от одной работы к другой (вследствие универсальности); низкая стоимость отладки роботов (подвергаются отладке при их изготовлении на заводе, а отладка и регулировка специализированных автоматических устройств производится при внедрении). Система с роботами требует обычно только ручной настройки на заданную программу и разумного выбора блокировок); применение роботов дает возможность быстро составить для них новые программы и перевести для выполнения других

работ на вновь установленном оборудовании, в то время как с момента принятия решения об автоматизации производства с помощью специализированных автоматических устройств до его реализации проходит значительное время, за которое оборудование устаревает.

С помощью роботов можно объединять оборудование в координированно работающие технологические комплексы различного масштаба, не связанные жестко по планировке и числу комплектующих агрегатов. Такие комплексы обеспечивают оптимальную структуру технологических процессов в широком диапазоне серийности изделий. В этой связи открываются новые принципы эффективной организации серийного производства, суть которых заключается в автоматизации централизованной координации материальных и информационных производственных потоков на основе роботов и средств вычислительной техники.

При ручной загрузке станков или сборке выпуск продукции за определенный промежуток времени является случайной величиной, колебания которой обусловлены физическим и моральным состоянием рабочего, его квалификацией и добросовестностью. Вследствие этого производительность у отдельных рабочих или у одного рабочего в различные промежутки времени различна. В таких условиях трудно синхронизировать работу станков и добиться оптимальной их производительности. С применением роботов эти задачи упрощаются. Роботы выравнивают и стабилизируют производительность отдельных станков, что упорядочивает производство и создает предпосылки для оптимальной его организации. Особенно благоприятные условия для применения роботов создаются в связи с развитием программного управления различным технологическим оборудованием.

Современные роботы способны заменить тяжелый, утомительный, однообразный ручной труд, заменить человека при работе в условиях вредной и опасной окружающей среды. Роботы позволяют более полно использовать возможности технологического оборудования, повысить производительность труда, высвободить большое количество людей, занятых на вспомогательных операциях, и тем самым создают предпосылки для повышения сменности оборудования.

В последние годы создано немало разновидностей роботов как в Советском Союзе, так и за рубежом. Существующие конструкции роботов классифицируют на три класса (рис. VIII-3): 1) человекоподобные, которые не получили должного развития, так как не могут в большом объеме производить полезную работу; 2) информационные, которые достигли высокого совершенства (спутники Земли и Луны, «Луноход-1» и «Луноход-2» и др.); 3) промышленные, предназначенные для замены физического труда человека, которые по своим возможностям относят к трем поколениям (I, II, III).

Конструкции промышленных роботов в СССР и за рубежом классифицируют по следующим признакам:

1. По назначению — универсальные и специальные. Специальные разделяются по видам производств и типу обслуживаемого оборудования. В зависимости от назначения робот должен обладать соответствующими техническими характеристиками (табл. VIII-1).

Таблица VIII-1

Вид производства	Тип приводов	Вид передвижения	Тип управления	Точность позиционирования руки, мм	Поколение	Грузоподъемность, МН	Особые требования
Литейное	Пневматический, электрический	Неподвижный подвесной	С отдельным пультом	± 10	I и II	30	Температуростойкий, пылезащитный
Кузнечно-прессовое	Пневматический, электрический	Неподвижный напольный	С отдельным пультом	± 3	I	5	Температуростойкий
Сварочное	Пневматический, гидравлический, электрический	Подвижный напольный и подвесной	С отдельным пультом на роботе	± 1	I и II	До 5	Защищенный от сварочных брызг
Механообрабатывающее	Электрический, гидравлический, пневматический	Неподвижный напольный и подвесной, подвижный	С пультом на роботе и от ЭВМ	± 1	I и II	По табл. 2	—
Сборочное	Электрический, пневматический, гидравлический	Напольный и подвесной, подвижный	С пультом на роботе и от ЭВМ	$\pm 0,5$	II и III	По табл. 2	—
Термическое	Электрический, пневматический	Напольный, неподвижный и подвижный	С отдельным пультом, пультом на роботе и от ЭВМ	± 3	I и II	По табл. 2	Температуростойкий

2. По характеру движения руки — совершающие движение по цилиндрической поверхности (рука движется по вертикали и поворачивается) и по сферической поверхности (рука шарнирно качается).

3. По типу приводов движений — гидравлические, пневматические, электрические и смешанные.

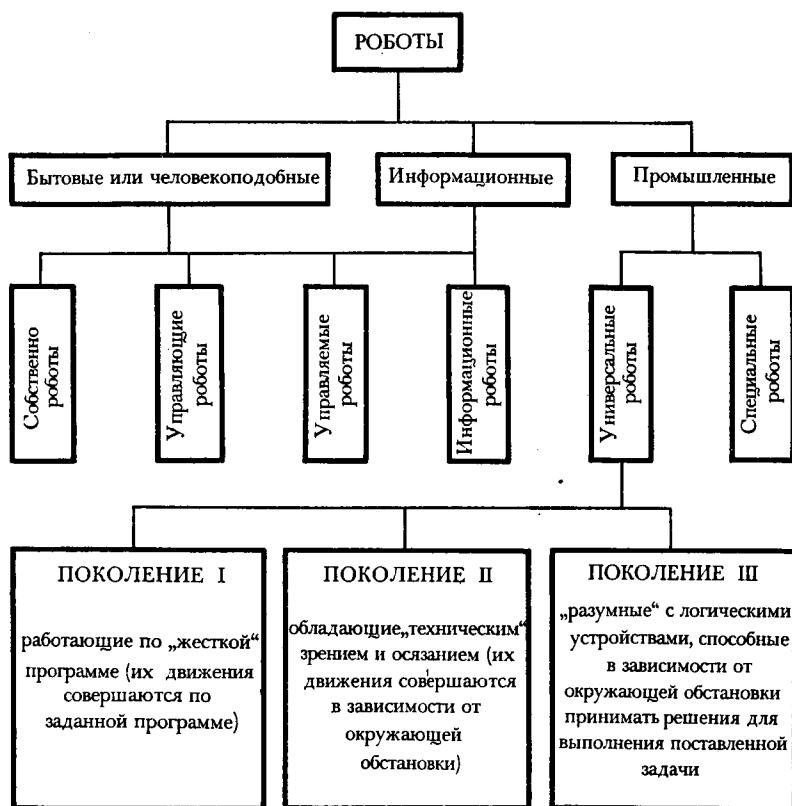


Рис. VIII-3. Классификация роботов

4. По виду передвижения робота — неподвижные (напольные и подвесные), напольные подвижные, подвесные подвижные.

5. По размещению пульта управления — отдельный пульт и пульт на роботе.

6. По конструкции пульта управления — программа задается на перфоленте, магнитной ленте или барабане; программа задается панелью со штекерным набором; управление от ЭЦВМ.

7. По техническим возможностям — роботы поколения I, работающие по «жесткой» программе и требующие точного позиционирования деталей; роботы поколения II, способные приспосабливать-

ся к окружающей обстановке и не требующие точного позиционирования деталей,— адаптивные роботы; роботы поколения III, способные воспринимать окружающую обстановку и в зависимости от нее самостоятельно выбирать направление движения для достижения конечной цели,— «разумные» роботы.

8. По весу поднимаемых деталей и величине раскрытия захватов (табл. VIII-2).

Таблица VIII-2

Показатели	Типоразмер робота					
	I	II	III	IV	V	VI
Вес поднимаемых деталей	До 1,0	1—10	10—40	40—100	100—200	Свыше 200
Величина раскрытия захвата, мм . .	» 50,0	50—150	150—300	300—400	Свыше 400	—

Таблица VIII-3

Показатели	Типоразмер робота					
	I	II	III	IV	V	VI
Подъем руки, мм	500—800	800—1200	1200—1500	1500—2000	1500—2000	Свыше 200
Выдвижение руки, мм . .	400—600	600—800	800—1200	1200—1500	Свыше 1500	

9. По величине подъема и выдвижения руки (табл. VIII-3).

На рис. VIII-4 приведена общая функциональная схема различных разновидностей роботов [26].

В разных классах роботов присутствует та или иная часть из блоков и связей, показанных на этом рисунке.

Блок 1 обозначает внешнюю среду, в которой действуют исполнительные органы робота. В него входят также находящиеся в данной среде предметы, с которыми робот должен манипулировать или которые он должен обходить как препятствия при целенаправленном движении исполнительных органов.

Исполнительные органы (блок 2) робота — его «руки». Для механического перемещения звеньев рук робота по всем степеням подвижности создана система приводов (блок 3) с устройствами управления ими (блок 4). Здесь имеется в виду лишь нижняя ступень устройств управления движением приводов как следящих систем с внутренними корректирующими средствами. На схеме показаны стрелками связи между этими тремя блоками (прямые и обратные).

Совокупность блоков (2, 3, 4) образует манипулятор (или несколько манипуляторов), который и есть основная исполнительная часть рассматриваемых роботов.

При наличии средств передвижения корпуса робота последние

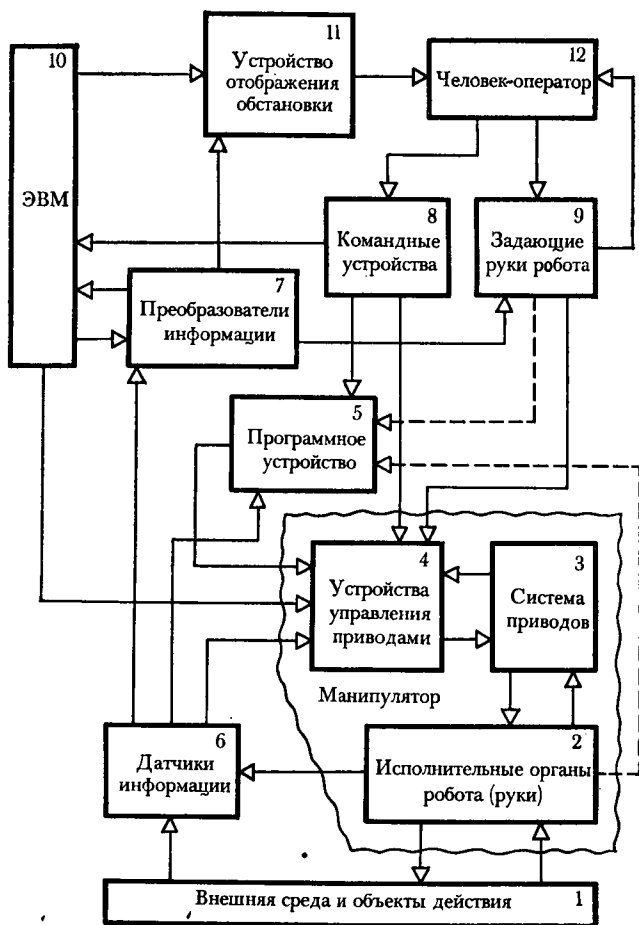


Рис. VIII-4. Функциональная схема разновидностей роботов

также должны иметь свою систему приводов или двигателей, с собственными устройствами управления.

Роботы могут быть или полностью автоматическими, или работать при участии человека — оператора. Как было показано выше (см. рис. VIII-3), автоматические управляемые роботы разделяют на три поколения, что соответствует исторической последовательности развития. Однако это не значит, что первый заменяется вторым, а второй — третьим. Наоборот, все поколения и разновидности роботов-

манипуляторов, от простейших до самых совершенных, всегда сохраняют свои позиции в определенной области применения [26].

Первое поколение роботов представляет собой манипулятор (блоки 2, 3, 4, рис. VIII-4) с программным устройством управления (блок 5). Такой робот выполняет совокупность жестко запрограммированных операций. Для этого среда, в которой он действует, должна быть заранее полностью известна и определенным образом организована, а предметы, с которыми он манипулирует, — в исходном положении и строго ориентированы в пространстве.

Программное устройство должно легко перестраиваться на выполнение другого комплекса операции, но также строго организованного. Серия программ может быть заранее заложена, но возможно и задание каждой новой программы путем «обучения» робота. Например, человек может, взявшись за «кисть» руки робота, провести с ней весь требуемый комплекс операций. Комплекс записывается (запоминается) в программном устройстве, после чего робот будет автоматически повторять цикл. Однако для такой записи программы вовсе не обязательно человеку водить непосредственно кистью руки робота. Это можно делать с командного устройства 8 нажатием кнопок, соответствующих определенным степеням подвижности руки. Могут быть применены и другие задающие органы.

Второе поколение — роботы с оцувствлением. Исполнительные «руки» робота снабжаются различными датчиками, выдающими информацию о состоянии рук и предметов, с которыми он должен манипулировать, а также об основных необходимых свойствах среды, где происходит процесс. Такими датчиками могут быть контактные датчики, сигнализирующие о прикосновении руки робота к предметам; локационные, определяющие скорость движения и расстояние до предметов; телевизионные и оптические, образующие искусственное зрение; датчики усилий и моментов на исполнительных руках робота при проведении операции, а также датчики, различающие цвет, нагретость, звучание и т. п.

Система датчиков (блок 6 на рис. VIII-4) служит источником обратных связей для управления действиями робота, а именно: сигналы датчиков нужным образом преобразуются (блок 7) и обрабатываются в ЭВМ (блок 10) или в более простых логических устройствах (блок 5) с целью формирования сигналов управления, подаваемых на приводы исполнительных рук (4, 3, 2). В результате робот начинает действовать с учетом фактической обстановки, т. е. он получает возможность адаптации (приспособления своих действий) к реально складывающейся обстановке. Он как бы обладает уже органами чувств. В зависимости от количества и типов датчиков создаются различные варианты оцувствления в соответствии с задачами роботов в той или иной среде.

В отличие от первой разновидности роботы с оцувствлением могут действовать в неполностью определенной и частично изменяющейся среде. В управляющую ЭВМ заранее закладывают программы типовых действий, которые и включаются ими автоматически, в определенной последовательности в зависимости от обстановки.

Третье поколение — роботы с искусственным интеллектом. У них весьма высокая степень «очувствления» — устройства восприятия и распознавания образов (обстановки), устройства выработки решений и автоматического планирования и контроля операций в зависимости от поставленных целей и распознанной обстановки.

Существуют различные варианты того, как придать роботу те или иные элементы искусственного интеллекта. Структура и совершенство таких систем определяются, с одной стороны, содержанием и сложностью задач, а с другой — техническими возможностями реализации нужных элементов искусственного интеллекта.

Система управления роботов-манипуляторов третьей разновидности имеет сложную иерархическую структуру, т. е. несколько уровней. Нижний уровень — управление непосредственно приводами исполнительных органов (движение рук манипулятора и, если надо, передвижение его корпуса). Следующий уровень — формирование сигналов управления на эти приводы, затем — программирование деталей операции. Еще выше — планирование комплекса операций в крупном плане и т. п. Каждый уровень системы управления имеет свои обратные связи от различных датчиков информации.

Первая разновидность такого класса систем — копирующие манипуляторы (с дистанционным управлением). Манипулятор называется копирующим тогда, когда имеется задающий орган, подобный исполнительным рукам, в общем случае с изменением масштабов по геометрическим размерам и по усилиям (блок 2 на рис VIII-4). Он может располагаться на любом удалении от исполнительной руки. Человек-оператор держит задающий орган своими руками и двигает его нужным образом, подает сигналы управления, которые через дистанционную передачу поступают на исполнительную руку манипулятора. Рука совершает необходимые операции, в точности копируя все движения задающего органа.

Подобные копирующие манипуляторы применяют обычно для работ в экстремальных условиях. В среду с такими условиями помещают исполнительные руки манипулятора, а человек-оператор с задающим органом находится в отдельном помещении.

Между объектом действия манипулятора и человеком-оператором должна существовать зрительная обратная связь непосредственно через окно, снабженное оптическими средствами, или же с помощью телевизионного изображения (блок II). Если, кроме того, реализовать дополнительные обратные связи на задающий орган, то эффективность действия оператора значительно возрастет (благодаря ощущению им рабочих усилий и моментов). Тем самым как бы увеличивается степень участия человека в непосредственном выполнении операции на рабочем месте. Такие системы называются копирующими манипуляторами двустороннего действия.

В копирующих манипуляторах используется интеллект самого человека. С их помощью можно производить тонкие и сложные операции в неопределенной и меняющейся обстановке. Правда, время вы-

полнения каждой операции в экстремальных условиях с помощью копирующего манипулятора значительно больше, чем если бы человек производил такую же операцию своими руками в нормальных условиях.

Копирующие манипуляторы уже много лет применяют для работ в закрытых камерах с радиоактивными веществами, в вакуумных камерах и др. Чисто копирующий режим не всегда целесообразен. Но если такие действия чередуются с более простыми и серийно повторяющимися, то целесообразно их запрограммировать. Тогда человек-оператор будет включать те или иные программы для действий в автоматическом режиме и брать время от времени управление на себя.

Такого рода комбинированное человеко-машинное управление роботами можно осуществлять в самых различных вариантах. Выше рассмотрена простейшая комбинация чередования автоматического программного и ручного копирующего режимов управления роботом-манипулятором. Аналогичное комбинированное управление возможно и при работе с оцувствленными роботами, когда робот совершает операции уже с определенной долей адаптации к внешней обстановке. Человеку-оператору здесь чаще придется быть в роли наблюдателя и реже брать управление на себя, когда специфика операции выходит за пределы возможностей (квалификации) данного робота.

Заметим, что управление действиями робота-манипулятора от человека не обязательно должно осуществляться в копирующем режиме. Возможен командный режим — нажатием кнопок или давлением на управляющую рукоятку (с малыми ее смещениями).

Кнопочный режим в настоящее время неэффективен, командное же управление от рукоятки представляет большой интерес. В общем случае можно сделать рукоятку со всеми шестью степенями свободы в пространстве, но с малым перемещением по каждой из них. Человек-оператор нажатием на рукоятку задает направление перемещения конца исполнительной руки (т. е. захвата) как линейное, так и угловое; нажатием на пружинящую опору рукоятки можно задавать скорость или усилие перемещения захвата.

Могут быть и более простые рукоятки управления с тремя степенями свободы. С помощью одной из них задается, например, поступательное, а второй — угловое перемещение захвата. Есть и другие варианты.

Поскольку здесь человеком-оператором задается только движение захвата, то между командной рукояткой и исполнительной рукой робота должна находиться автоматика, которая по заданной общей команде вырабатывает сигналы управления на приводы в каждом шарнире исполнительной руки с тем, чтобы они обеспечили ее требуемое движение. При наличии ЭВМ в контуре автоматического управления роботом она может осуществлять указанные функции при командном управлении от рукоятки.

Перенастройку автоматических роботов с программным управлением на новые циклы операций проводит человек с помощью задающих органов, подобных рукам, либо с помощью кнопочных команд,

или же с помощью описанной управляющей рукоятки. При этом все движения записываются как программа. Обученный таким образом робот сможет по записанной программе самостоятельно выполнить весь цикл операций и повторить его сколько нужно.

Для автоматических роботов с оцувствлением и элементами искусственного интеллекта возможно участие человека-оператора в процессе управления в так называемом супервизорном режиме. Это означает, что все детали операций и даже определенные их циклы робот выполняет самостоятельно. Но человек, когда надо, может вмешиваться в процесс управления на высоких уровнях планирования операций и осуществлять целеуказание роботу в крупном плане.

§ 2. ЦЕЛЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ РОБОТОВ

Как показано выше, робот состоит из ряда функциональных узлов — целевых механизмов. Рассмотрим основные из них [26].

Манипуляционные устройства. К этим устройствам относятся «руки» робота (рис. VIII-5), которые, подобно рукам человека, имеют много степеней подвижности. Однако в манипуляторах не следует точно копировать человеческую руку. Некоторые степени подвижности руки человека обычно не воспроизводятся, например многие суставы пальцев. Другие могут решаться по-иному, а третьи вводиться заново, как, например, телескопическое удлинение отдельных звеньев руки или ее поступательное выдвижение из корпуса робота.

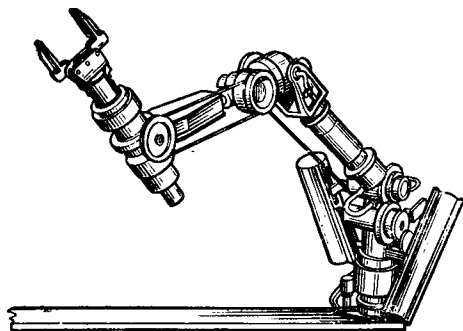


Рис. VIII-5. Манипуляционное устройство робота

В зависимости от характера выполняемых операций число степеней подвижности руки составляет от трех до двенадцати.

Наиболее употребляемое на практике в настоящее время — от четырех до семи. В разных типах рук робота при одинаковом числе степеней подвижности может иметься разный их набор, например, только вращательные или с наличием поступательных, причем те и другие могут распределяться различно по звеньям руки. Следовательно, возможно очень большое число вариантов кинематических схем исполнительных рук роботов.

На рис. VIII-6, а, б представлены два варианта кинематической схемы механической руки робота, каждый с двенадцатью степенями подвижности. В обоих вариантах (по аналогии с человеческой рукой) шарнир 5 соответствует повороту в локтевом суставе, 7 и 8 — две степени поворота кисти, 6 — ротация кисти относительно локтя (ротация предплечья), 9 — ротация захвата, 10 — раскрытие захва-

та, 4 — ротация локтя относительно плечевого сустава (ротация плеча), 2 и 3 — две степени поворота в плечевом суставе, 1 — поступательное перемещение (выдвижение) всей руки из корпуса робота вместе с плечевым суставом (такого движения нет в плече человека).

Эти десять движений одинаковы в обоих вариантах. Различаются же они тем, что в первом варианте (рис. VIII-6, а) 11 и 12 — повороты нижних частей губок захвата (суставы пальцев), а во втором (рис. VIII-6, б) 11 и 12 — повороты, аналогичные вращениям туловища сидящего человека.

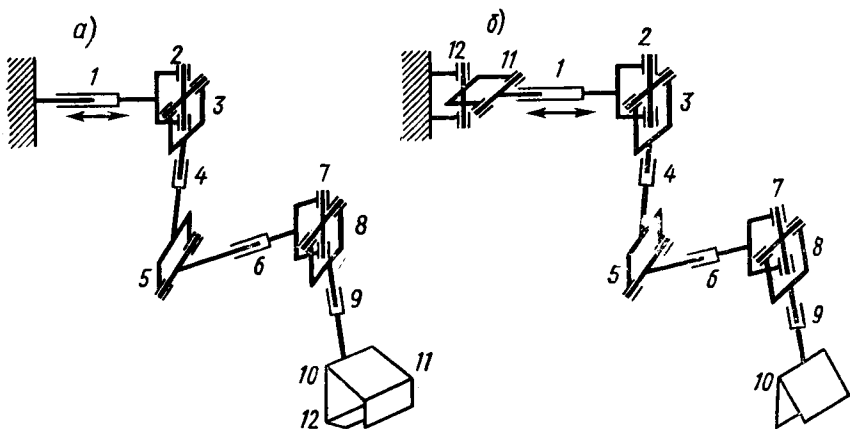


Рис. VIII-6. Кинематические схемы «руки» робота с 12 степенями свободы

Кроме различия в распределении степеней подвижности вдоль руки робота существенное значение имеет также и различие в соотношении геометрических размеров отдельных ее звеньев.

Выбор того или иного варианта кинематической схемы определяется целым рядом конкретных условий и требований. Во-первых, она должна обеспечить достаточную степень универсальности функционирования робота по отношению к циклам операций в некоторой внешней среде; во-вторых, наибольшую простоту конструкции руки, технологичность ее изготовления и наименьшую стоимость. Эти основные положения разбиваются на целый ряд конкретных требований, к которым добавляются и другие, зависящие от области применения системы.

Прежде всего кинематическая схема руки должна гарантировать попадание захвата в любую точку заданной рабочей зоны, а кроме того, и любую необходимую угловую ориентацию захвата в каждой точке. В общем случае это требует шести степеней свободы движения захвата (как твердого тела, не считая движения его губок). Обозначим это число m . Во многих частных задачах $m \leq 6$, т. е. может потребоваться пять, четыре, а иногда даже ограничиваются и тремя степенями свободы (например, в простейшем японском промышлен-

ном роботе «Аида» одно вертикальное перемещение, одно горизонтальное и одно вращение вокруг горизонтальной оси).

Очевидно, что для реализации заданного числа m степеней свободы движения захвата рука в целом должна обладать не меньшим числом степеней подвижности n , к нему нужно добавить еще число k степеней подвижности захвата. Следовательно, с учетом последнего имеем $n \geq m + k$ (число k обычно равно единице, но может быть и больше).

Каждому заданному числу степеней подвижности руки могут отвечать, как уже известно, различные варианты ее кинематической схемы. Поэтому при конструировании можно выбирать тот или иной вариант таким образом, чтобы одновременно удовлетворить ряд других требований. Например, изменение угловой ориентации захвата при его положении в любой точке рабочей зоны не должно сопровождаться заметными перемещениями удаленных от него звеньев руки, а это зависит от распределения степеней подвижности при заданном их общем числе.

Для соблюдения необходимой маневренности руки робота (например, при наличии препятствий в рабочей зоне, при необходимости проникновения в труднодоступные места) число степеней подвижности руки n должно быть больше, чем m . Тогда захват сможет находиться в определенном положении в пространстве при различных конфигурациях взаимного расположения всех звеньев руки, что и требуется для обхода различных препятствий. Отсюда практическая потребность в семи и девяти и даже более степенях подвижности, несмотря на стремление ограничиться минимальным числом.

Разумеется, все степени подвижности такой руки должны быть управляемыми, не смещаться самопроизвольно под действием внешних сил (в частности, массы, гидродинамических и пр.), что может быть даже при неизменном положении захвата. Если есть влияние сил собственного веса звеньев, то существуют специальные методы их уравнивания.

Конструкции захвата чрезвычайно разнообразны. Во многих случаях предусматривается набор сменных захватов, приспособленных к различным видам операций и формам предметов. Кроме обычных механических захваты могут быть магнитными, вакуумными и т. п. Смена захватов производится как вручную, так и автоматически.

Вместо захвата (или в губки захвата) может вставляться любой необходимый инструмент: гайковерт, сверло, ножницы, отвертка, сварочная головка, щетка, пульверизатор для окраски, клеймо и пр. При этом может быть предусмотрена автоматическая или ручная смена инструментов и восстановление захвата.

Приводные устройства робота. Манипуляционные устройства робота — механические руки — представляют сложный, движущийся объект, перемещениями которого необходимо управлять. Эти операции выполняются приводными устройствами, каждое из которых реализует управляемое движение в определенном шарнире руки благодаря соответствующим сигналам, формируемым в системе управления.

Приводные устройства для управления движением руки располагаются различным образом. Сейчас в основном их помещают непосредственно в шарнирах или на звеньях руки, около каждого шарнира. Такое расположение выгодно для приводов небольшой мощности, т. е. при небольшой грузоподъемности руки.

Применяется и компоновка всех приводов в едином моторном блоке на корпусе манипулятора, около плечевого сустава. Она требует тросовой, реечной или сельсинной передачи движений от моторного блока ко всем шарнирам; это предпочтительнее для более мощных приводов, ибо не загромождены звенья руки.

С первым типом компоновки легче реализовать любую кинематическую схему, получить более высокий коэффициент полезного действия (из-за отсутствия передач) и большую универсальность крепления руки к корпусу. Второй тип облегчает звенья руки, улучшая тем самым манипулирование, хотя общая масса манипулятора в целом может и увеличиться.

Применяется и вариант комбинированной компоновки приводов (часть в шарнирах, а часть в блоках); он позволяет воспользоваться сочетанием указанных выше преимуществ обеих компоновок.

В качестве источников перемещений в приводных устройствах роботов широко применяют электродвигатели постоянного тока. Их недостаток — наличие коллектора; в остальном их отличает высокая надежность работы, хорошие регулировочные свойства, когда по условиям работы требуется широкий диапазон регулирования скоростей при небольших потерях энергии.

Двигатели постоянного тока могут быть как с независимым, так и с последовательным возбуждением. В последние годы большее предпочтение отдается двигателю с последовательным возбуждением, с одной или двумя (расщепленными) обмотками возбуждения. У него большая кратность пускового момента, благодаря чему он лучше воспринимает изменения момента нагрузки, легко выдерживает реверсирование.

Управлять скоростью таких двигателей можно с помощью электромашинных усилителей, магнитных усилителей и различных электронных схем управления. Они подразделяются на линейные и импульсные. В импульсных схемах используют транзисторы, работающие в ключевом режиме, либо тиристоры (которые позволяют управлять не только малыми, но и значительными мощностями). В частности, появление тиристорных схем управления упрощает и делает более надежным силовой каскад в двухобмоточном варианте двигателя с последовательным возбуждением, особенно при его использовании в роботах-манипуляторах. В роботах-манипуляторах повышаются требования к компактности привода, к к. п. д., к точности и динамическим качествам движения в широком диапазоне скоростей (в том числе и при очень малых — «ползучих» — скоростях), к точной и надежной фиксации положений руки и т. п. Это обусловило создание нового типа электропривода — в виде единого компактного модуля — электродвигателя, редуктора и части корректирующих устройств (по край-

ней мере, внутренних обратных связей). Только при условии совместной обработки всех частей привода и изготовления его как единого модуля можно удовлетворить указанному комплексу требований. Редуктор в таком модуле при большом передаточном числе должен иметь минимальные габариты, как можно меньшие коэффициенты трения и люфты. Надо предусмотреть возможность «вписывания» модуля внутрь шарнира руки или на звено около шарнира (с минимальным его утяжелением).

Наиболее перспективны новые типы редукторов — волновые передачи в различных модификациях, в том числе так называемые респансины.

В случае использования единого приводного устройства для различных движений механической руки управление необходимыми перемещениями производится посредством электромагнитных муфт. Единый привод позволяет уменьшить инерционность и потребляемую мощность, повысить динамические качества системы.

Недостатками устройства являются: во-первых, непрерывность его работы, т. е. постоянное потребление энергии, даже при остановках ряда суставов руки; во-вторых, отказ двигателя выводит из строя систему. Все же описанные выше преимущества часто делают такой принцип незаменимым при действиях робота в агрессивной среде и в условиях взрывоопасности.

В качестве источников движения приводных устройств в роботах используются и шаговые двигатели различных типов. Такая дискретная система управления позволяет добиваться более высокой точности воспроизведения программы движения. Кроме того, шаговые двигатели перспективны в сочетании с цифровой управляющей машиной. Однако, используя их, приходится особенно заботиться о корректирующих устройствах плановости движения захвата и динамики управления. Поэтому необходимо создание специальных модулей с шаговыми двигателями.

Наиболее часто в роботах встречаются поршневые (силовые гидроцилиндры) и лопастные гидравлические приводы. Передача движения от выходного штока привода к соответствующей степени подвижности конструктивно выполняется совершенно иначе, чем у электродвигателей.

Устройство управления гидропривода обычно электрическое (откуда и происходит термин «электрогидравлический привод»). Из различных способов управления в настоящее время наиболее популярен импульсный. Использование электрогидравлических приводов с широтноимпульсным управлением позволяет повысить их надежность, расширить диапазон изменения условий эксплуатации и снизить стоимость системы управления.

К положительным свойствам гидравлического привода также относятся: малая масса на единицу мощности, малая инерционность, высокое быстродействие, возможность получения низкой скорости движения без применения редуктора (например, при использовании силового цилиндра).

Если не нужны большие мощности, приводные устройства робота

могут снабжаться пневматическим приводом как с электрическими, так и с пневматическими (струйными) управляющими и корректирующими устройствами.

Механизмы передвижения роботов часто представляют собой обычную рельсовую или безрельсовую тележку, но с автоматическим управлением или с телеуправлением. Автоматическое управление движением тележки может быть связано в единую систему с управлением действиями рук робота. Тогда обе системы будут работать от единого программного устройства или единой ЭВМ в соответствии с общим планом операции работы.

Другой способ передвижения — установка робота на подвеску, перемещающуюся на роликах по потолочному или настенному рельсу. Управление перемещением подвески тоже можно скомпоновать в единую систему с управлением руками. Аналогичные способы передвижения характерны и для погрузочно-разгрузочных работ, складирования и доставки инструментов и материалов на рабочие места других роботов, установленных стационарно.

Колеса тележек управляются различно. Это может быть и привод на задней оси с разворотом передней. И привод с управлением отдельно на каждое колесо, что повышает маневренность тележки. Наконец, каждое колесо может крепиться к своей стойке при управляемом повороте плоскости колеса вокруг вертикальной оси. Тогда при одновременном повороте плоскостей всех колес на один и тот же угол тележка сможет поступательно перемещаться (без разворота) по прямой в любом заданном направлении из любой точки пола; возможны и другие варианты.

Если привод расположен отдельно в ступице каждого колеса (так называемое мотор-колесо), то пользуются теми же приводными электромеханическими модулями, что и для управления движением составов руки робота.

Система управления роботов. На рис. VIII-4 показана общая функциональная схема роботов, из которой следует, что роботы различаются наличием или отсутствием тех или иных блоков общей схемы и составом аппаратуры каждого блока.

Система управления имеет иерархическую структуру (рис. VIII-7). **Первый, нижний уровень** — схемы управления непосредственно движением звеньев руки: это приводные устройства с их обратными связями и корректирующими механизмами. Получив сигналы от устройств следующего, второго, уровня, они реализуют их, переводя в механическое движение, т. е. работают как автоматические следящие системы.

На втором уровне системы управления робота-манипулятора формируются сигналы управления. Главная его задача — целесообразное их распределение по всем шарнирам руки для осуществления требуемого перемещения захвата в пространстве при выполнении той или иной элементарной операции. К ним относится выбор траектории, если нужно — с обходом препятствий и с оптимизацией управляемого процесса движения руки по каким-либо критериям.

Второй уровень системы управления реализуется по-разному: при помощи программного устройства (в современных промышленных роботах), ЭВМ, задающей руки, применяемой в копирующих манипуляторах. Однако все три способа или любая пара из них могут сочетаться в одной комбинированной системе.

На третьем уровне управления выполняется укрупненная задача на операцию: разрабатываются ее детали, т. е. она рас-

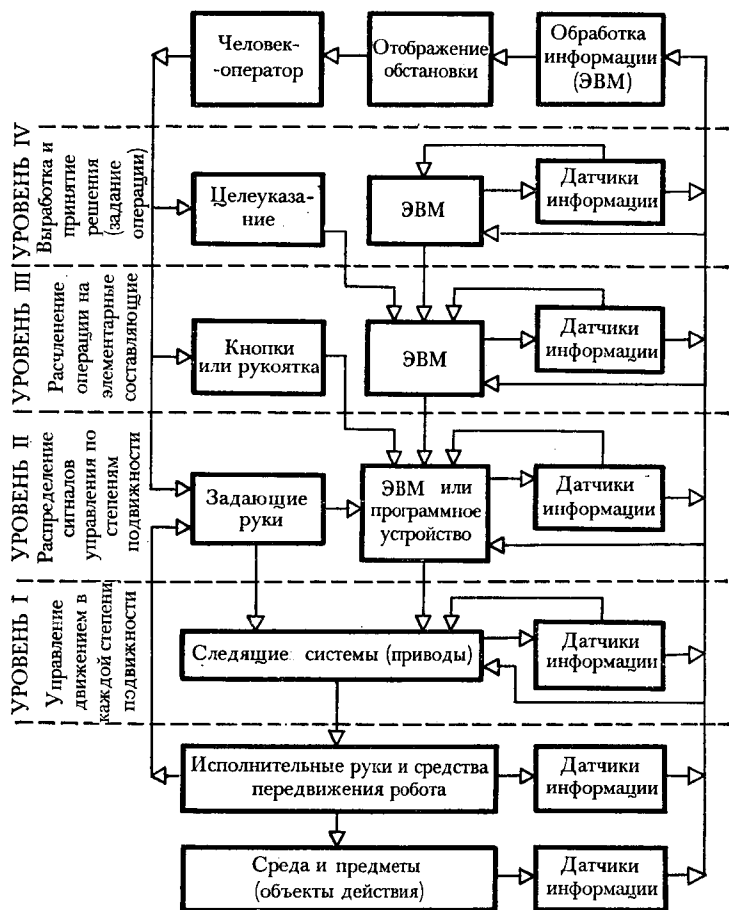


Рис. VIII-7. Структурная схема системы управления роботами

кладывается на последовательность элементарных перемещений захвата в соответствии с некоторым комплексом правил, что реализуется обычно на ЭВМ, куда должны быть в той или иной форме заложены эти правила.

Пусть, например, в третий уровень системы управления робота поступило задание — при помощи гайковерта навернуть гайку, закрепляющую деталь в процессе сборки. Допустим, что гайка и

гайковерт лежат в определенных для них местах. Операция расчленяется на элементы: передвинуть руку из исходного положения к месту расположения гайковерта, автоматически закрепить его в руке, передвинуть руку к месту расположения гайки, захватить гайку в гайковерт, передвинуть руку к месту сборки, приблизить гайку к концу болта (или шпильки), навернуть гайку. Расчленение операции на элементы может быть и более детализированным.

Сигнал о необходимости выполнения каждого из элементов операции поступает из третьего во второй уровень системы управления, где для выполнения каждого элемента сигналы распределяются наиболее выгодным образом на все степени подвижности руки робота.

В третий уровень системы управления могут закладываться операции и значительно более крупного масштаба, чем в данном примере, — вся сборка сложного узла или машины.

На третьем уровне в системах с кнопочным и рукояточным командным управлением находится человек-оператор, нажимающий на кнопки или на управляющую рукоятку; при этом он расчленяет крупную операцию на элементы. Затем ЭВМ или более простой вычислитель и автоматика распределяют сигналы по степеням подвижности.

Четвертый уровень системы управления робота необходим в тех случаях, когда заранее не получено сведений о том, какую операцию нужно выполнять. Робот, исходя из окружающей обстановки, неизвестной и изменяющейся, должен сам принять решение — какую операцию необходимо в создавшихся условиях реализовать. Следовательно, четвертый уровень — это уровень выработки и принятия решения о необходимости выполнения той или иной операции в заранее неопределимых условиях (элементы искусственного интеллекта). Принятое решение передается в третий уровень системы управления для реализации.

В то время как четвертый уровень требует «творческой» деятельности ЭВМ, третий и второй уровни часто могут быть более детерминированными — использовать, например, программные устройства; при этом ЭВМ может быть единой, но предпочтительнее иметь отдельную машину на каждом уровне. Здесь перспективны мини-ЭВМ.

Каждый уровень системы управления робота имеет обратные связи, по которым передается информация о состоянии и действии нижних уровней, а также и свои внутренние обратные связи (см. рис. VIII-7). Они формируются соответствующими датчиками информации и устройствами ее обработки (с преобразованием к нужному для функционирования данного уровня виду).

Человек-оператор может участвовать непосредственно в процессах управления через третий и второй уровни, как показано на рис. VIII-7, но он может и через те же два уровня участвовать лишь в предварительной настройке или программировании подлежащих выполнению операций; кроме того, он может вмешиваться и в действия самых верхних уровней, на этапах принятия решений и задания операций в крупном плане (с помощью тех или иных способов целеука-

зания). Последний способ участия человека именуется «супервизорным режимом управления от человека-оператора». При этом человек должен иметь перед глазами отображение обстановки в месте действия рук робота и наглядное представление о другой необходимой информации и функционировании всех звеньев системы управления и исполнительных органов.

Очувствление робота-манипулятора — один из важнейших факторов функционирования системы управления. Очувствление — это установка соответствующих датчиков информации, играющих роль органов чувств. Они же источники обратных связей для системы управления. Информация, выдаваемая датчиками, надлежащим образом преобразовывается (обрабатывается).

Устройства очувствления в принципе здесь играют роль, что и измерители или чувствительные элементы в любых системах автоматического управления. Но в связи со спецификой, их использование сложно, они аналогичны органам чувств человека и требуют при построении решения ряда самостоятельных кибернетических (информационных) и технических задач.

Датчики выдают информацию о состоянии и изменении среды, в которой действуют руки робота, о расположении и перемещении предметов — объектов действия, о положении и движении захвата и звеньев руки, а также о состоянии и действиях всех уровней самой системы управления.

Непосредственно на руках захвата исполнительной руки устанавливаются тактильные датчики, т. е. чувствительные элементы, реагирующие на прикосновение захвата к чему-либо. Прикосновение может произойти не по всей поверхности губок, а лишь в небольшой их части, внутри или снаружи захвата. Отсюда необходимость в целом ряде тактильных датчиков по всей внутренней и наружной его поверхности.

Кроме того, такие же датчики устанавливают и в других местах исполнительной руки робота, например в крайних точках суставов, которыми рука может коснуться каких-либо препятствий или ограничений в рабочем пространстве. Своевременный сигнал и соответствующая реакция на него позволяет избежать возможных поломок или деформаций.

Тактильные датчики строятся на разных принципах, например используются известные в технике чувствительные элементы приборов, измеряющих малые контактные давления. Съем информации с них тоже может быть различен как по физическому принципу, так и функционально. Например, может свидетельствоваться лишь факт прикосновения, но может и измеряться величина контактов давления, если это нужно.

Сигналы от тактильных датчиков используются для обратной связи в основном второго уровня (см. рис. VIII-7), который ведает распределением сигналов управления по всем степеням подвижности. На втором уровне (без участия верхних) осуществляются соответствующие изменения процесса движения руки. Но, кроме того, сигналы от тактильных датчиков при необходимости используются и на

более высоких уровнях управления, при общем планировании и расчленении операций.

На исполнительных руках и на средствах передвижения устанавливаются и другие датчики информации, которые в пределах определенных расстояний сигнализируют о приближении захвата или другой части руки (тележки) к предметам или препятствиям. Здесь опять же может сниматься либо просто сигнал о том, что осталось заданное расстояние до предмета, либо осуществляться непрерывное или дискретное измерение расстояния или скорости приближения.

Сигналы локационных датчиков также образуют обратную связь системы управления. Благодаря ей программа движения при определенном расстоянии до предмета может просто видоизменяться, но может и регулироваться скорость сближения и т. п. Обратные связи используются на втором и более высоких уровнях системы управления.

Особое значение приобретают проблемы искусственного зрения и распознавания образов. Искусственное зрение позволяет на верхнем уровне системы управления автоматически создавать модель среды с расположенными в ней предметами, с фиксированием относительного положения и движения исполнительных рук среди них. Становится возможным организовать и автоматическое принятие решения о выполнении операции с детализацией их на нижестоящих уровнях. Этот вид оцувствления связан уже с созданием элементов искусственного интеллекта: в этой области в настоящее время технически решены лишь простейшие частные случаи.

Искусственное зрение с распознаванием образов может быть построено на самых разнообразных принципах: от оптических (начиная с простых фотоэлементов и сканирующих лучей — обычных или лазерных) до телевидения и голографии в любых частях спектра, в том числе инфракрасного, а также радиолокации, акустики, радиации и др.

Промышленные роботы, применяемые в машиностроении, komponуются из приведенных выше целевых механизмов, причем механизмы передвижения роботов применяются довольно редко.

На рис. VIII-8 приведена конструкция манипулятора модели Fleximan-1 (США). Все движения манипулятора осуществляются от одного электродвигателя. В корпусе манипулятора установлены механизм привода гибкой руки, механизм циклового программного управления и пульт управления.

Подвижная рука 1 изготовлена из гибкого металлического рукава, один конец которого закреплен в подвижной каретке 2. На другом конце расположена поворотная головка 3, пространственное положение которой определяется связями 4. На фланце поворотной головки устанавливается сменное захватное приспособление 5. Каретка 2 перемещается в вертикальном направлении по валу 13 при помощи винтовой шариковой пары 6. Винт пары закреплен в подшипниках. Робот имеет барабан 20 электромеханической памяти и барабан 11 механической памяти.

Кинематика вращения этих барабанов следующая: электродвигатель 26 — пара шестерен 15, 16 — фрикционная муфта-вал 13 — шестерня 12 — барабан 11. Вокруг барабана 11 расположено шест-

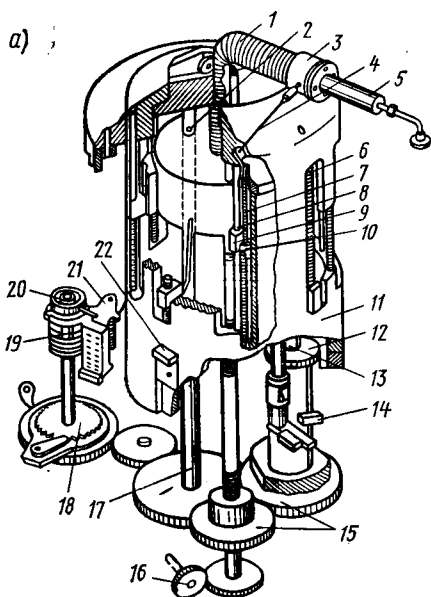
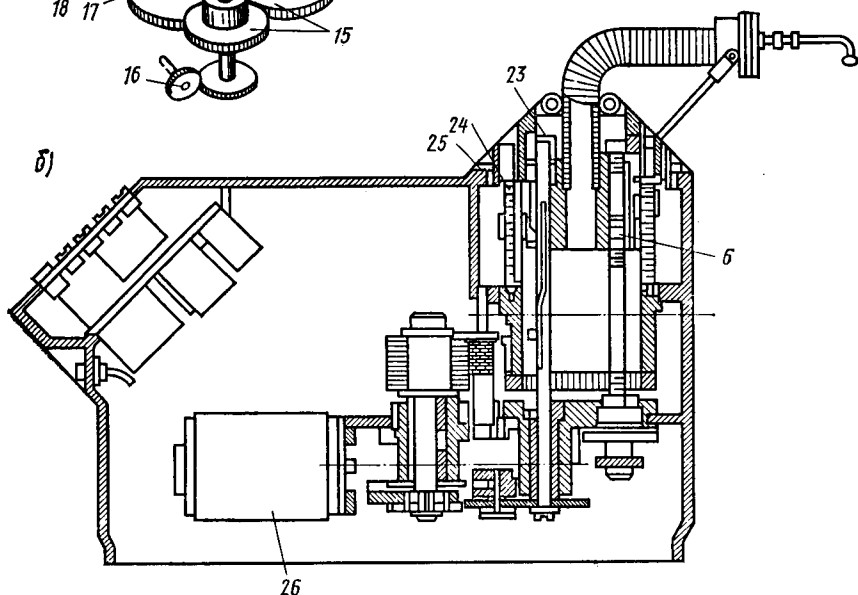


Рис. VIII-8. Кинематическая схема манипулятора модели Fleximan-1



надцать упоров, которые можно устанавливать на необходимую высоту винтами 7, восемь упоров 25, фиксируемых винтами 24, и четыре упора 9, регулируемых штангой 8. Упоры 9, 10 и 25 определяют пространственное положение восьми точек захватного устройства. Барабан механической памяти обеспечивает последовательность шест-

надцати шагов в комбинации из восьми точек. Выбор последовательности этих точек в цикле работы осуществляется программным барабаном 20. Вращение на барабан 20 передается (при ходе каретки 2 вниз) через вал 17 и систему передач на храповой механизм 18.

На барабан 20 насажены позиционные диски 19 с выступами. Количество дисков соответствует количеству шагов в цикле работы. На наружной поверхности барабана 11 имеется соответствующее количество упоров 22. Диски 19 через рычаги 21 воздействуют на упоры 22, тем самым ограничивают угловое перемещение барабана 11 и фиксируют барабан в одном из восьми положений. Втулка 23 является направляющим элементом при вертикальном перемещении захватного устройства.

Программа для работы задается установкой упоров 8, 10 и 26, которые определяют восемь пространственных положений захватного устройства, и соответствующим набором дисков 19, определяющих последовательность этих положений. Работа робота происходит следующим образом. С пульта управления включается электродвигатель 24. При вращении винтовой пары 6 каретка 2 движется вниз до упора. Барабан 11 при движении каретки 2 вниз не вращается. Вал 17 поворачивается и с помощью храпового механизма 18 поворачивает барабан 20 на один шаг. Один из дисков 19 выступом нажимает на соответствующий рычаг 21. После этого релейная электросхема осуществляет реверс электродвигателя и каретка 2 перемещается вверх. Барабан 11 получает вращение, прекращающееся в момент, когда один из упоров 22 контактирует с рычагом 21. Одновременно с этим фрикционная муфта на валу 13 срабатывает и барабан 11 поджимается к рычагу 21. Каретка 2 перемещается вверх до соприкосновения с одним из упоров 25.

Система копиров обеспечивает взаимодействие рычага каретки с конечными выключателями 14, и электродвигатель останавливается.

Робот с цикловым программным управлением позволяет производить работы по перемещению деталей, сборке, сварке и применяться для других технологических целей.

Робот типа Unimate (рис. VIII-9) состоит из неподвижного основания и подвижной руки с захватом. В основании расположены механизмы движения руки робота и система программного управления.

Скорость линейных движений плеча при перемещении грузов составляет 0,7—15 м/с, угловая скорость в секунду 100—120°. Рука робота вращается относительно вертикальной оси в пределах 220°, качание относительно горизонтальной оси в пределах 60°, прямолинейное радиальное выдвижение 1 м (т. е. рука робота имеет три степени свободы). Наибольшее расстояние от центра вращения руки составляет 2,42 м. Общий объем рабочей зоны обслуживания составляет около 10 м³. Точность позиционирования деталей $\pm 1,3$ мм. В отдельных случаях, например для установки деталей в центрах станка, точность позиционирования может быть доведена до 0,1 мм. Исполнительный орган — захват — выполнен в виде клещей. Захват имеет дополнительно две степени свободы: вращение относительно го-

ризонтальной оси в пределах 220° и относительно оси захвата в пределах 180° .

Конструкция робота позволяет заменять захваты, так как при работе с различными по конфигурации деталями необходимы определенные захваты.

Все движения робота осуществляются от гидравлического привода (рис. VIII-9). Робот состоит из неподвижной станины 1 и пово-

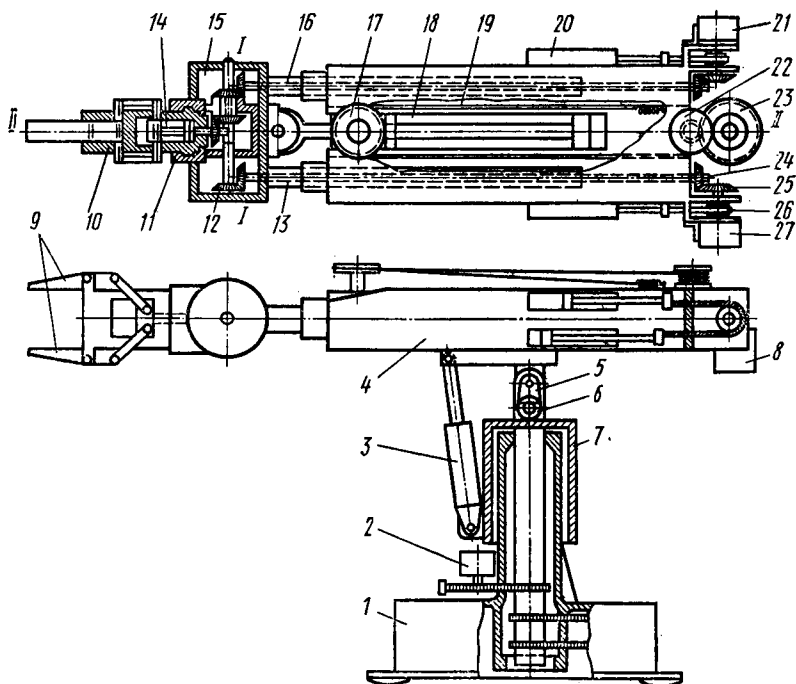


Рис. VIII-9. Конструктивная схема робота модели Unimate

ротной части 7. Корпус руки 4 крепится на цапфах поворотной части станины. Качание руки производится с помощью гидроцилиндра 3. Сигнал о наклоне руки робота подает кодовый датчик 6. Привод этого датчика осуществляется от зубчатого сектора 5. Корпус запястья 15 крепится на полых валах 13 и 16 и с помощью гидроцилиндра 18 получает поступательное перемещение, о котором сигнализирует кодовый датчик 8, который приводится во вращение системой, состоящей из зубчатой передачи 23, барабана 22, блока 17 и троса 19. Датчик 2 сигнализирует об угловом перемещении руки в горизонтальной плоскости.

Качательные движения корпуса 11 относительно оси I—I осуществляет гидроцилиндр 20 через цепную передачу 26, коническую пару 25 и вал 24 и коническую пару 12. Аналогичным образом от ги-

дропцилиндра 20 вращается корпус захвата 10 относительно оси II—II.

Сигналы об этих двух перемещениях поступают от датчиков 21 и 27. Разведение губок захвата 9 осуществляется от пневмоцилиндра 14. Программирование работы манипулятора по автоматическому циклу осуществляется в процессе наладки при ручном управлении. Для этого вся система управления устанавливается на наладочный режим и последовательные рабочие положения головки фиксируются оператором путем нажима на соответствующую кнопку. Максимальное количество записи позиций положения захвата (руки) робота — 180—200. Запись операций производится на магнитном барабане памяти. На его поверхности имеется 16 000 магнитных сегментов, расположенных на 180 (или 200) параллельных рядах (на периферии барабана по 80 сегментов в каждом ряду). Таким образом, каждая команда записывается в пределах 80-разрядного числового кода и содержит всю информацию для управления движениями робота.

В настоящее время проводятся научно-исследовательские работы по созданию роботов поколений II и III. Роботы поколения II обладают «техническим» зрением и осязанием и совершают движения рук в зависимости от окружающей обстановки. Они могут находить и захватывать разбросанные детали и устанавливать их не в одну заданную точку, а в несколько, при этом, ориентируясь в обстановке самостоятельно, например, укладывать детали со станка в технологическую (специальную) тару или в ящик и т. д. Роботы поколения II могут найти широкое применение в различных видах производств. Наиболее перспективными являются роботы поколения III, обладающие искусственным «разумом», получившие название «разумных роботов». Такие роботы могут воспринимать и логически оценивать окружающую обстановку и самостоятельно определять свои движения для выполнения конечной цели. Задание таким роботам выдается в общем виде (задачи ЭВМ, которая расположена отдельно от робота или в его основании).

Основным направлением дальнейшего развития роботов, как отмечено выше, является исследование возможностей создания систем, обладающих органами чувств, и средств различных движений, управляемых от ЭВМ, роботов поколений II и III.

Робот «Рука Эрнста» (рис. VIII-10) состоит из следующих чувствительных элементов: выключателя 1, замыкающегося при прикосновении (определяет нахождение объекта между губками); шести контактов 2, замыкающихся при прикосновении (сигнализирует о контакте с поверхностью губок); шести датчиков давления 3, определяющих положение захваченного объекта и степень его сжатия; фотодиода 4, реагирующего на темные объекты; двух датчиков давления 5; датчика давления 6, регистрирующего соприкосновение запястья со столом.

«Рука Эрнста» решает отдельные логические задачи и принимает самостоятельные решения. Например, если ящик сместить с отведенного места, то рука производит его поиск и, обнаружив, переносит на прежнее место.

«Рука Эрнста» — робот поколения II с адаптивным устройством (датчиками), который может приспосабливаться к внешним условиям.

Адаптивный робот фирмы Hitachi (Япония) (рис. VIII-11) имитирует чувство осязания и определяет величину развиваемого усилия, необходимого для выполнения конкретной работы. Робот используется на операциях упорядоченной укладки в тару различных изделий. Он состоит из вертикальной наклоняемой стойки и шарнирно закрепленных плеча и головки. Головка имеет два пальца для захватывания изделий. Каждый палец снабжен 14 высокочувствительными устройствами, которые расположены по его наружной поверхности. Кроме того, палец снабжен четырьмя внутренними датчиками, которые воспринимают ве-

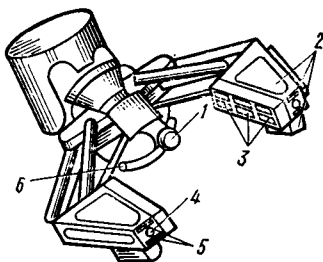


Рис. VIII-10. Схема чувствительных элементов руки

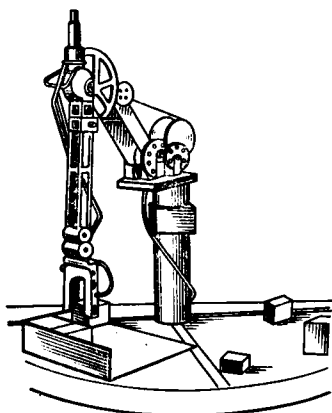


Рис. VIII-11. Адаптивный робот фирмы Hitachi

личины возникающих усилий. Сигналы всех датчиков обрабатываются электронными приборами таким образом, что в сети управления создается настройка, достаточная для опознавания и оперирования с различными объектами.

В число операций, автоматически выполняемых с помощью робота, входят узнавание объектов после их ощупывания пальцами головки, распознавание формы и положения в пространстве этих объектов. Поэтому робот надежно зажимает и прочно удерживает предметы, при необходимости изменяет их пространственное ориентирование, помещает предметы последовательно рядами в тару и плотно прижимает их к стенке тары или к соседнему, ранее установленному изделию.

§ 3. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В настоящее время существует много разновидностей промышленных роботов как в СССР, так и за рубежом. Манипуляционные устройства этих роботов имеют от трех до девяти степеней подвижности, с различными конструкциями захватов и инструментов

(в том числе и автоматически сменяемых). Способы программирования различны, но во всех случаях они предполагают быструю перенастройку на другой цикл работы в пределах возможностей данного робота.

Приведем некоторые примеры использования промышленных роботов в машиностроении. При обработке деталей на металлорежущих станках робот берет деталь, поступающую извне, ставит ее нужным образом на станок. Пока деталь обрабатывается, он берет обработанную на другом станке деталь, ставит ее на следующий станок. Затем рука робота возвращается к первому станку, переставляет первую деталь, после чего снова загружает первый станок деталью извне и т. д. Таким образом, робот ритмично выполняет ручные операции двух-трех рабочих.

На рис. VIII-12 приведена схема робота конструкции ЭНИМС для автоматизации токарного патронного полуавтомата ПП1713ФЗ с числовым программным управлением.

Работа осуществляется следующим образом: при нажатии кнопки «пуск» включается гидроцилиндр Ц1, который через передачу рейка 4 — реечная шестерня z_1 — зубчатая передача z_2 , z_3 , z_4 — рейка 1 перемещает руку 2 с захватами 3 вниз к таре с заготовками. В конце хода рейка гидроцилиндра Ц1 включает конечный выключатель установленный в барабане упоров управления ходом руки 5; в результате рука останавливается и подается команда на зажим заготовки в захватах, что осуществляется от гидроцилиндра Ц3. Зажим управляется с помощью реле давления. Рука 2 с зажатой заготовкой перемещается вверх от гидроцилиндра Ц1. Затем подается команда на поворот барабана управления 5 и одновременно на цилиндр поворота руки Ц2. Рука с заготовкой поворачивается (рейка 6 — реечная шестерня z_8) на уровень линии центров станка. Управление поворотом осуществляется от барабана управления поворотом 7. При этом подается команда для перемещения руки с заготовкой в зону обработки станка.

Окончание этого элемента цикла фиксируется конечным выключателем барабана управления 5, который одновременно включает гидроцилиндр Ц5, перемещающий руку с заготовкой вдоль оси центров станка до помещения заготовки в патрон, после чего производится зажим заготовки в патроне и подвод центра задней бабки; произво-

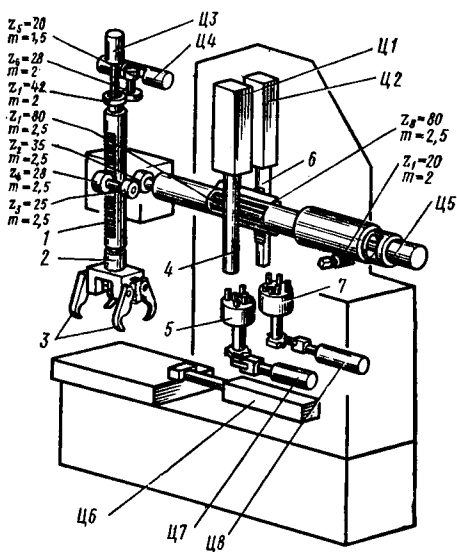


Рис. VIII-12. Схема робота конструкции ЭНИМС

дится разжим захватов руки, отвод руки назад; подается команда на закрытие ограждения станка и выполняется обработка детали. После обработки детали открывается защитный кожух станка, рука перемещается к детали, зажимаемой в захватах робота, производится отвод задней бабки, разжим патрона. Рука 2 перемещает деталь в соответствующую тару. Управление этими элементами цикла выполняется аналогично предыдущим с помощью конечных выключателей барабанов управления 5 и 7. Далее цикл повторяется.

Описанный робот перемещает детали диаметром 50—180 мм. Горизонтальный ход руки — 520 мм, вертикальный — 520 мм, поворот руки — до 90°, поворот захвата вокруг оси руки — 90°.

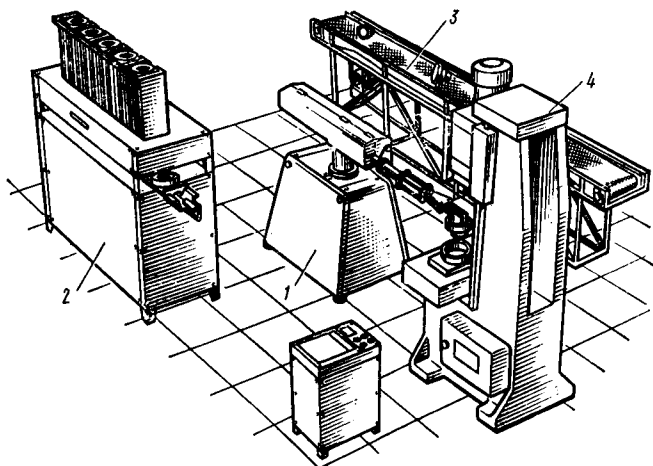


Рис. VIII-13. Использование робота в автоматической линии сверления отверстий:

1 — робот SR-10; 2 — устройство подачи заготовок; 3 — конвейер; 4 — многшпindleльный сверлильный станок

На рис. VIII-13 показано использование робота SR-10 Shinko (Япония) в автоматической линии сверления отверстий в изделиях, отлитых в постоянную форму. Система подачи заготовки — сверление отверстий — транспортировка заменяет человека при выполнении механических операций переноса изделий.

Автоматическая линия состоит из устройства подачи заготовок 2, многшпindleльного сверлильного станка 4, конвейера 3 и одного робота 1. Устройство подачи заготовок устанавливает заготовку в определенное фиксированное положение. Механическая рука переносит заготовку на сверлильный станок и устанавливает ее в определенном положении. После сверления готовое изделие переносится роботом на конвейер. Цикл повторяется автоматически.

Промышленный робот Shinko имеет четыре степени свободы. Для всех перемещений используется унифицированный пневматический привод. В приводе используются механические упоры, что позволяет добиваться точности позиционирования $\pm 0,5$ мм.

Система программного управления промышленного робота представляет собой матричную штырьковую панель, которая обеспечивает до 120 различных движений в цикле. Применение матричной панели позволяет легко вносить коррекцию в программу без изменения основной ее части.

На рис. VIII-14 приведена автоматическая линия нарезания канавок режущего инструмента, где используется тот же робот SR-10. Линия состоит из ящика для готовых изделий 1, станка для нарезания

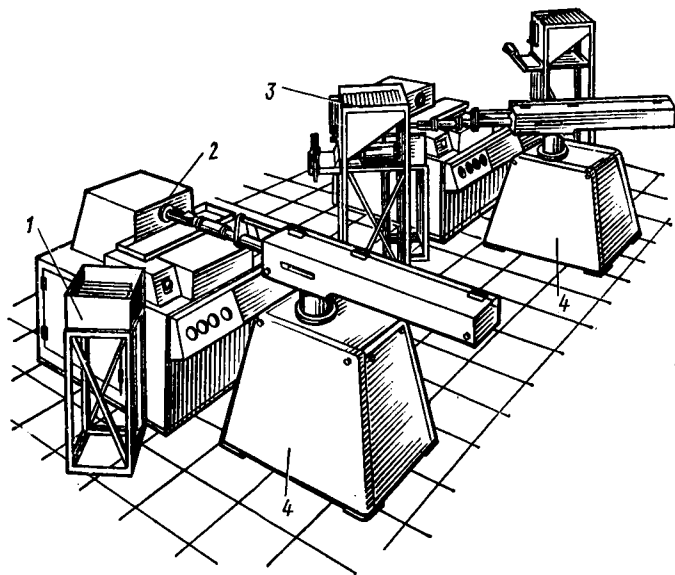


Рис. VIII-14. Использование робота в автоматической линии нарезания канавок в режущем инструменте:

1 — ящик сбора готовых изделий; 2 — станок для нарезания канавок; 3 — устройство подачи заготовок; 4 — робот SR-10

ния канавок 2, устройства подачи заготовок 3 и робота 4. Механическая рука, захватив заготовку из устройства подачи заготовок, вводит ее в станок для нарезания канавок и в таком положении поворачивает заготовку на 90° ; при этом нарезаются канавки; затем заготовка укладывается в ящик. Цикл автоматически повторяется.

Для эффективного применения роботов необходимо, чтобы он обслуживал одновременно не менее четырех станков.

Целесообразность применения роботов может быть вызвана необходимостью автоматизации всех производственных операций (замены ручного труда) при создании автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и производством в целом в условиях серийного выпуска продукции.

Широкое применение промышленные роботы могут получить в кузнечно-прессовом, литейном производствах, где их высокая про-

изводительность и ритмичность в противоположность рабочему-оператору не снижаются ни от усталости, ни от воздействия условий работы.

Большое значение работы приобретают на сборочных операциях, освобождая человека от однообразных утомительных операций. При этом выполняются элементарные операции — детали вставляются друг в друга, свинчиваются или крепятся сваркой (заклепкой), клеймятся и т. д. Анализ технологического процесса ручной сборки показывает, что оператор по сравнению с автоматом проигрывает в скорости выполнения непосредственно операций закрепления, но имеет ряд преимуществ при подаче деталей на сборочную позицию при ориентировании деталей и их предварительной сборке. Поэтому фактор времени и точности позиционирования исполнительного органа автомата, величина его транспортных скоростей являются очень важными.

Другим определяющим фактором, обеспечивающим конкурентоспособность при автоматизации производственных процессов, являются технологические возможности сборочных роботов. К подобному автоматическому оборудованию в серийном производстве предъявляются, кроме того, требования низкой стоимости, возможности быстрой переналадки под сборку различных изделий, экономичности при сборке малыми сериями, надежности.

В общем случае сборочный робот состоит из задающей и исполнительной частей. На рис. VIII-15, *а* представлена схема робота, работающего в цилиндрической системе координат. Он имеет три основных движения: поворот вокруг вертикальной оси 1, вертикальное перемещение руки 2 и радиальное перемещение инструментальной головки 3 вдоль руки. Эти движения обеспечивают перенос головки со сборочным инструментом в любую точку рабочего пространства робота. Задающая часть обеспечивает определенную последовательность перемещений и остановов. В качестве задающего устройства может использоваться система программного управления. При наличии программной приставки сборочный робот может быть успешно применен и в серийном производстве. Такой же робот можно использовать и при постоянной наладке в поточно-массовом производстве на постоянно выполняемых операциях взамен специального сборочного оборудования. Исполнительная часть сборочного робота — собственно механическая рука — остается при этом неизменной; изменяется лишь управляющая часть.

Сборочные роботы могут работать как индивидуальные установки, но могут быть и встроены в линию. Возможна также параллельная работа нескольких роботов в одной установке.

На рис. VIII-15, *б, в, г, д, ж*, з представлено несколько возможных схем использования сборочных роботов в различных компоновках. Так, они могут использоваться в линии, состоящей из ряда последовательно работающих единиц (рис. VIII-15, *б*); передачу деталей и узлов с одной сборочной позиции на следующую производят при этом сами роботы. На конвейерной сборке более сложных узлов (рис. VIII-15, *в, г, д, ж*) роботы выполняют определенные операции. Их система

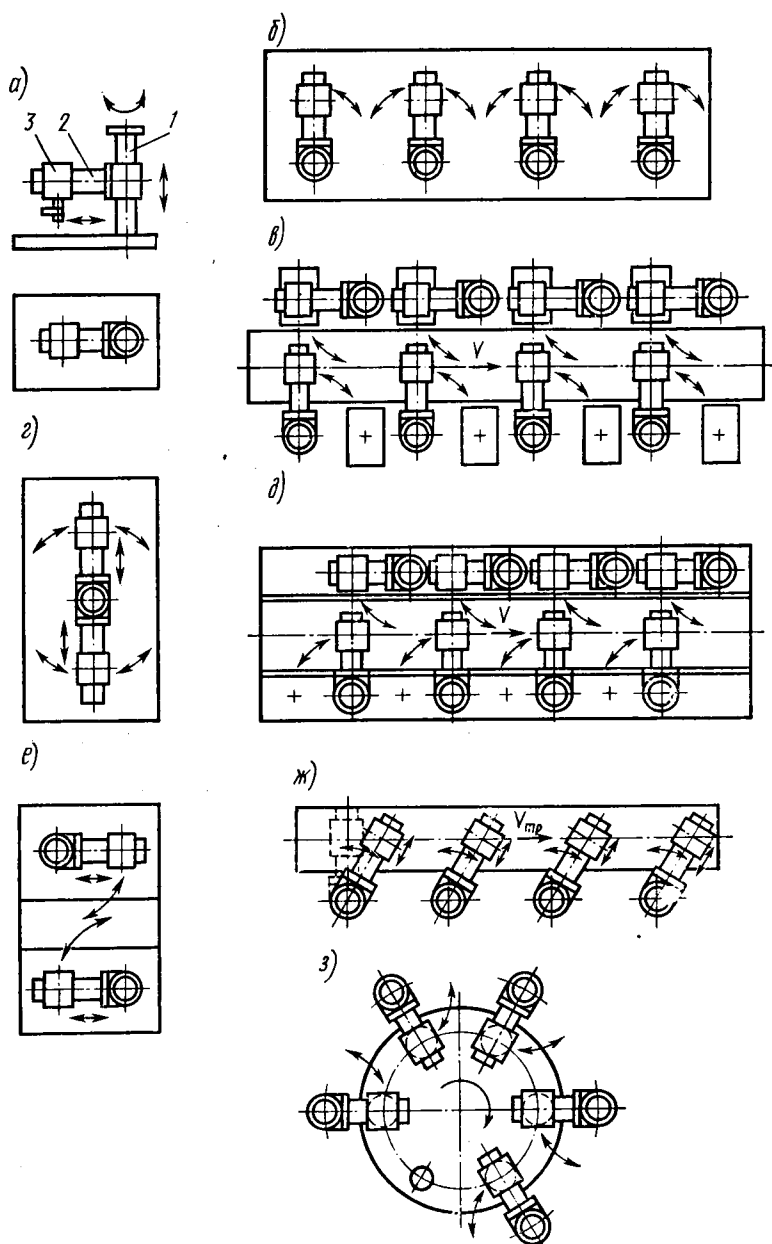


Рис. VIII-15. Компоновка сборочных автоматических линий с использованием роботов:

а — робот; б — последовательная компоновка линии; в, д, ж, и — компоновка с конвейером; г — параллельная компоновка; е — параллельно-последовательная компоновка; з — компоновка с поворотным столом

управления заблокирована с системой управления транспортных устройств, перемещающих собираемые изделия.

Сборочные роботы могут применяться и в комплекте с другим сборочным оборудованием, например круглыми индексирующими столами (рис. VIII-15, з). Только изучение и практическое исследование различных схем компоновок может дать представление о наилучших вариантах использования роботов:

1) автоматическая сборка узлов из двух-трех и более деталей (при этом робот работает как отдельный автомат);

2) общая сборка изделий, состоящих из простых предварительно собранных узлов;

3) общая сборка на отдельных участках поточной или поточно-автоматизированной сборочной линии;

4) предварительное комплектование узлов;

5) вспомогательные операции.

При работе сборочного робота в качестве индивидуальной установки подача деталей производится автоматически из бункеров или магазинов. Следует отметить, что сборочные программируемые роботы предпочтительнее для сборки узлов и изделий, не превышающих по габариту 200 мм. Эти сборочные работы незаменимы в технологических процессах, где присутствие человека нежелательно или невозможно. Они могут с успехом использоваться также при работе со взрывоопасными (пневматический тип) и токсичными веществами в условиях повышенного шума, высоких и низких температур, в вакууме и т. д.

Таким образом, как средство автоматизации сборочный робот обладает достаточными технологическими возможностями, универсальностью и гибкостью. Как показывает практика, достаточно большой объем работы приходится выполнять даже при сборке несложных узлов, состоящих из нескольких деталей, или при использовании периодически повторяющихся элементарных движений на различных линиях сборки. Для серийного производства могут быть применены конструкции роботов, у которых исполнительный орган (механическая рука) с комплектом инструментов может перемещаться в своем рабочем объеме в соответствии с заданной программой, осуществляя те или иные виды работ. В качестве инструмента могут использоваться различные захваты, гайковерты, винтоверты и другой сборочный инструмент. Для перехода к сборке нового изделия необходимо сменить комплект инструментов и программу работы аналогично тому, как это делается при металлообработке.

Анализ существующих в настоящее время таких программируемых роботов позволяет выявить три их конструктивные схемы.

К первой схеме можно отнести роботы, у которых механическая рука совместно с исполнительным органом перемещается поступательно по трем взаимно перпендикулярным осям. Исполнительный орган может иметь дополнительно несколько степеней свободы. Роботы, работающие по этой схеме, могут обладать высокой степенью точности позиционирования исполнительного органа (до 5 мкм). Основная область их применения — точное приборостроение.

В работе, выполненном по второй схеме, исполнительный орган совместно со смонтированным на нем сборочным инструментом перемещается поступательно по двум взаимно перпендикулярным осям (по оси и по рукаву в радиальном направлении), а также вращается вокруг вертикальной оси. Точность позиционирования в этом случае несколько ниже.

Исполнительный орган робота, выполненного по третьей схеме, имеет вращательное движение вокруг трех координатных осей и одно поступательное — вдоль одной из них. Такие устройства в основном используются для выполнения транспортных операций и разгрузки различных станков, где не предъявляется высоких требований к точности позиционирования.

Программируемые роботы начинают находить широкое применение во многих отраслях промышленности.

Для превращения роботов, выполняющих только транспортные операции, в сборочные, их необходимо оборудовать комплектом сборочного инструмента и механизмами питания, которые обеспечивали бы выдачу собираемых деталей в предварительно ориентированном виде.

Сборочные роботы благодаря своей универсальности обладают широкими технологическими возможностями. Их главное назначение — узловая и общая сборка изделия. Узловая и общая сборка простого изделия осуществляется усилием руки одного робота, а общая сборка сложного изделия — с использованием нескольких роботов. В процессе сборки узлов могут выполняться следующие переходы: установка, закрепление (завинчивание, склеивание, сварка, пайка и т. п.), транспортирование, контроль и механическая обработка. Роботы могут работать как самостоятельные сборочные единицы, так и в составе различных автоматов и поточных линий сборки и механообработки.

Если механическая рука используется как самостоятельная сборочная единица, она снабжается централизованной системой программного управления, которая обеспечивает выполнение полного цикла автоматической сборки определенного узла по разработанному технологическому процессу.

КОМПОНОВКА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
МАШИН

Автоматизация производственных процессов привела к созданию современных высокопроизводительных станков, позволяющих осуществлять комплексную обработку изделия. В машиностроении возможности создания машин-комбайнов ограничены, ибо их габариты выходят за пределы экономически целесообразных. В связи с этим получил развитие поточный вариант производства — изделия последовательно передаются со станка на станок и полностью обрабатываются. Такая система машин последовательного агрегатирования позволяет резко поднять производительность за счет концентрации операций в каждом станке и автоматизации цикла работы станков.

Высокая эффективность автоматических линий обеспечивается, с одной стороны, качеством составляющих элементов, с другой — их взаимодействием в системе. Задача заключается в том, чтобы путем сравнительного анализа и выбора конструктивных элементов и подсистем, на основе методов теории производительности и надежности создавать оптимальные системы с наивысшими технико-экономическими показателями.

Разработка компоновки автоматической линии, которая в итоге реализуется в ее планировке, включает ряд задач синтеза системы, среди которых важнейшими являются: 1) выбор структуры компоновки автоматической линии, ее принципиальной схемы, которая определяет количество и взаимосвязь основного (технологического) и вспомогательного оборудования, вид межагрегатной связи в потоке и между потоками и др.; 2) выбор компоновочного решения линии, которое предопределяет взаимное пространственное расположение основных конструктивных элементов, прежде всего характер геометрической оси линии (разомкнутая или замкнутая, прямолинейная, П-образная, Г-образная и т. д.).

Накопленный опыт проектирования и научные исследования позволяют не только сформулировать методы расчета и выбора тех или иных вариантов, но и определить для основных видов линий типовые структурные и компоновочные решения. Любая технологическая система машин может быть скомпонована по различным структурным вариантам — от поточной линии до автоматической с жесткой связью. Понятие компоновка линии включает в себя две характеристики — структурное построение линии, которое определяет количество и взаимосвязь функциональных элементов линии; конструктивная ком-

поновка линии — их пространственное расположение. Рассмотрим основные структурные варианты построения линий (рис. IX-1).

Поточная линия характеризуется тем, что все станки, составляющие систему машин, работают независимо, с последовательной передачей обрабатываемых деталей с позиции на позицию (рис. IX-1, а). Станки поточной линии, как правило, полуавтоматы, поэтому загрузка-выгрузка деталей, межстаночное транспортирование, контроль обрабатываемых изделий производится вручную рабочими-операторами. Этот вариант построения системы является наиболее простым, имеет наименьшую стоимость, высокую производительность, так как почти отсутствуют дополнительные внецикло-

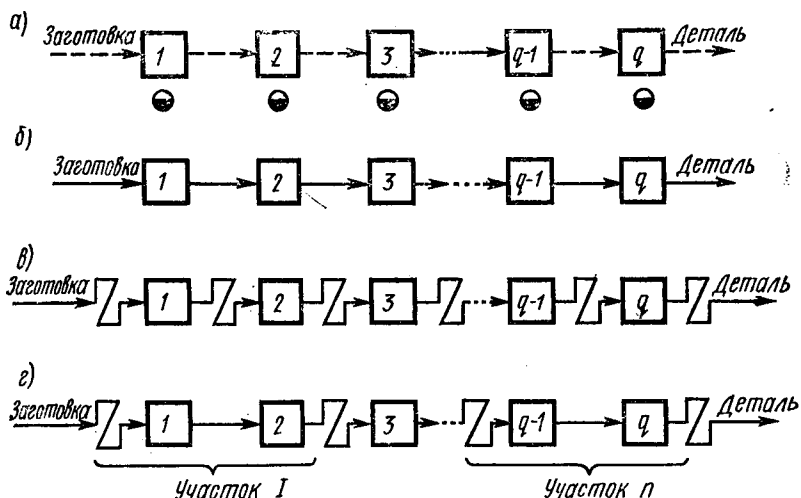


Рис. IX-1. Структурные варианты построения линий:

а — поточная линия; б — автоматическая линия с жесткой связью; в — автоматическая линия с гибкой связью; г — автоматическая линия, разделенная на участки; 1, 2, ..., q — номера станков; ● — рабочее место

вые потери (см. гл. III), но требует наибольших затрат живого труда.

Автоматическая линия с жесткой связью (рис. IX-1, б) характеризуется наличием жесткой межстаночной автоматической транспортной связи между всеми позициями линий. Такой вариант компоновки позволяет создать автоматическую линию наиболее простую по конструкции, следовательно, и наименее дорогую, затраты живого труда по обслуживанию линии минимальны по сравнению с поточной линией. Однако жесткая связь между станками приводит к дополнительным внецикловым потерям из-за влияния позиций линии друг на друга и, как следствие этого, производительность автоматической линии получается наименьшей по сравнению с другими вариантами компоновки (см. гл. III).

Автоматическая линия с гибкой связью (рис. IX-1, в) характеризуется наличием автоматических накопите-

лей между всеми позициями линий. Линия с гибкой связью является наиболее сложным и дорогостоящим вариантом, но при этом ее производительность выше, чем в автоматической линии с жесткой связью, ибо обеспечивается автономная работа станков линии (в пределах вместимости накопителей).

Автоматическая линия, разделенная на участки (рис. IX-1, *з*), характеризуется наличием жесткой межстаночной автоматической связи между станками, входящими в участок, и автоматических накопителей на границах участков. Этот вариант является промежуточным между автоматическими линиями жесткой и гибкой связи. Участки линии могут состоять из одинакового и неодинакового числа станков.

Таким образом, любая технологическая система машин последовательного или последовательно-параллельного действия может быть построена по нескольким (минимум четырем) структурным вариантам, которые различаются производительностью, числом обслуживающего персонала, стоимостью и другими характеристиками.

Следовательно, возникает проблема выбора и расчета оптимальной структуры линий, которая решается путем анализа сравнительных характеристик вариантов методами теории производительности машин и труда (см. гл. II и III).

Рассмотрим методы анализа и выбора структурных вариантов проектируемых автоматических линий как одну из прикладных задач теории производительности.

§ 1. РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Выбор оптимальной структуры компоновки автоматической линии производится на основе сравнения различных структурных вариантов, один из которых принимается за базовый.

В качестве исходного варианта можно принять поточную линию, которая имеет конструктивную простоту. Если при оценке целесообразности степени автоматизации создание автоматической линии сомнений не вызывает и, таким образом, поточная линия исключается из расчета как конкурирующий вариант, а сравниваются между собой только варианты автоматических линий, то простейшим вариантом автоматической линии следует считать такой, когда все рабочие машины, осуществляющие технологический процесс, жестко связаны между собой единым транспортным устройством, а обрабатываемое изделие последовательно проходит все рабочие зоны.

Известно, что автоматические линии машин, жестко связанных в соответствии с технологическим процессом, из-за ненадежности их механизмов, а также инструментов имеют значительно большие потери, чем машины, работающие отдельно в потоке (см. гл. III). Поэтому, решая задачу оптимальной компоновки станков в автоматической линии, в первую очередь следует определять, какое их количество надо объединять в единую линию с жесткой связью.

При этом следует учитывать, что с увеличением количества заблокированных станков возрастают суммарные простои за счет потерь, присущих каждому из объединяемых станков. Решение этой задачи требует сопоставления параметров поточной линии из станков с автоматическим циклом работы и автоматической линии из жестко заблокированных станков.

Первым критерием выбора схемы компоновки является производительность оборудования, ибо обеспечение заданной производительности — необходимое условие выбора того или иного структурного варианта линии. Как показано выше (см. гл. III), объединение q станков в автоматическую линию неизбежно повлечет за собой изменение производительности по сравнению с исходным вариантом — поточной линией:

$$\varphi = Q_{a.l} / Q_{п.л} \quad (IX-1)$$

Здесь φ — коэффициент изменения производительности; $Q_{п.л}$ — производительность поточной линии; $Q_{a.l}$ — производительность автоматической линии с жесткой связью.

Производительность линии определяется ее цикловой производительностью и коэффициентом технического использования, характеризующим степень использования фонда времени работы линии (см. гл. III):

$$Q_{п.л} = Q_{ц.п.л} \eta_{п.л}; \quad (IX-2)$$

$$Q_{a.l} = Q_{ц.a.l} \eta_{a.l}, \quad (IX-3)$$

где $Q_{ц.п.л}$ — цикловая производительность поточной линии; $Q_{ц.a.l}$ — цикловая производительность автоматической линии; $\eta_{п.л} = 1/(1 + B)$ — коэффициент использования станков поточной линии; $\eta_{a.l} = 1/(1 + Bq)$ — коэффициент использования автоматической линии с жесткой связью (см. гл. III); q — число позиций; B — относительные внецикловые потери каждого станка.

$$\varphi = \frac{Q_{ц.a.l}}{Q_{ц.п.л}} \frac{1 + B}{1 + Bq} = \gamma \frac{1 + B}{1 + Bq} \quad (IX-4)$$

Здесь $\gamma = Q_{ц.a.l} / Q_{ц.п.л}$ — коэффициент изменения цикловой производительности автоматической линии в сравнении с поточной.

На рис. IX-2 представлен график, показывающий снижение производительности автоматической линии при увеличении количества жестко связанных станков q . Чем больше относительные внецикловые потери B каждого станка, тем меньше производительность линии при одинаковом количестве заблокированных станков. Кроме того, необходимо учитывать дополнительные затраты на средства автоматизации, требующиеся для создания автоматической линии (транспортёры, системы управления, магазин-накопитель и т. п.).

Потери производительности и дополнительные затраты должны быть скомпенсированы экономией рабочей силы, иначе автоматичес-

кая линия может оказаться менее эффективной, чем действующая поточная.

Комплексный учет при расчете структуры компоновки изменения производительности оборудования, затрат живого труда (операторов и наладчиков), стоимости средств автоматизации, эксплуатационных затрат, а также фактора времени — срока службы оборудования может быть сделан по критерию роста производительности труда.

При создании автоматической линии из реальной поточной линии необходимо определить, сколько станков можно жестко связать в одну автоматическую линию, чтобы обеспечить максимальный рост производительности труда по сравнению с поточной линией, состоящей из таких же станков.

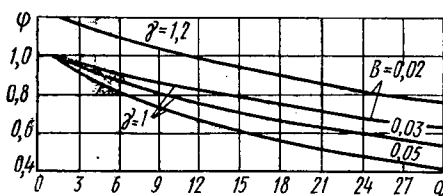


Рис. IX-2. Зависимость изменения производительности автоматической линии ϕ от количества позиций q (при различных внецикловых потерях B) и коэффициента γ — роста цикловой производительности

С этой целью необходимо провести сравнение всех затрат живого и прошлого труда при эксплуатации автоматической и поточной линий из одинакового числа станков, приняв за исходный вариант поточную линию, а за сравниваемый — автоматическую линию с таким же количеством станков. Для упрощения решения задачи в первом приближении примем следующие допущения:

1) при одинаковой степени дифференциации количество позиций в автоматической линии равно числу станков поточной линии;

2) все станки поточной линии имеют межоперационные заделы, следовательно, могут работать независимо. Останов любого станка не вызывает простоя остальных, так как транспортирование деталей с одной позиции на другую обычно производится с использованием рольгангов, которые и представляют собой некоторый задел. Кроме того, имеется возможность размещать часть задела непосредственно около станка;

3) станки автоматической линии с жесткой связью не имеют межоперационного задела, так как связаны единым транспортным устройством, поэтому выход из строя одной позиции обработки вызывает простой всей линии;

4) годовые текущие затраты (на ремонт, вспомогательные материалы и другие расходы) для автоматической линии во столько раз больше по сравнению с поточной, во сколько выше стоимость самой линии (чем дороже автоматическая линия, тем больше эксплуатационные затраты);

5) стоимость комплекта средств автоматизации не зависит от количества сблокированных станков, так как затраты на накопитель, системы управления и блокировки, привод транспортера не зависят от изменения числа станков в малом диапазоне;

- 6) потери на всех станках приняты равными;
 7) внецикловые потери вновь вводимых средств автоматизации не учитываются.

Для пояснения третьего допущения отметим, что при исследовании автоматических линий в условиях эксплуатации наблюдается малая длительность большинства простоев оборудования. Так, на автоматической линии из агрегатных станков для обработки картера сцепления вероятность отказа длительностью до одной минуты составляет 0,04% (в среднем один отказ на 2500 циклов). Вероятность неполадок длительностью от одной до двух минут — 0,014% (один отказ на 7150 циклов). Длительные простои наблюдаются крайне редко и поэтому не учитываются. В итоге средняя суммарная вероятность возникновения неполадок любой длительности составляет 0,068% (один отказ на 1470 циклов), а среднее время единичного простоя при устранении неполадок — 1,4 мин. Таким образом, при характерном для большинства линий из агрегатных станков цикле в 1—2 мин на каждой рабочей позиции задел, необходимый для обеспечения бесперебойной работы всей поточной линии в течение рабочего дня, составляет 3—5 деталей.

Рост производительности общественного труда при замене поточной линии автоматической определяется по формуле (II-8):

$$\lambda = A_{\text{т.а.л}} / A_{\text{т.п.л}}, \quad (\text{IX-5})$$

где $A_{\text{т.а.л}}$, $A_{\text{т.п.л}}$ — производительность труда, которую обеспечивают соответственно автоматическая и поточная линии. Причем учитываются все трудовые затраты для обоих сравниваемых вариантов при одновременном вводе их в эксплуатацию ($L = 0$). В соответствии с формулой (II-14)

$$\lambda = \varphi \frac{k + N(m + 1)}{k\sigma + N(m\varphi + 1/\varepsilon)}. \quad (\text{IX-6})$$

Определим все коэффициенты, входящие в формулу (IX-6), в функции q .

Проанализируем трудовые затраты, необходимые для эксплуатации автоматической линии. Сокращение живого труда ε при обслуживании автоматической линии по сравнению с поточной:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{T_{\text{ж.п.л}}}{T_{\text{ж.а.л}}} = \frac{(q/Z_0) Z_0 + (q/Z_{\text{н}}) Z_{\text{н}}}{q/Z_{\text{н}} Z_{\text{н}}} = \frac{Z_0/Z_0 + Z_{\text{н}}/Z_{\text{н}}}{Z_{\text{н}}/Z_{\text{н}}} = \\ &= 1 + \frac{Z_0}{Z_{\text{н}}} \cdot \frac{Z_{\text{н}}}{Z_0}, \end{aligned} \quad (\text{IX-7})$$

где Z_0 и $Z_{\text{н}}$ — соответственно число станков, обслуживаемых одним оператором или наладчиком; Z_0 и $Z_{\text{н}}$ — условная годовая заработная плата одного оператора и наладчика.

Как видно, величина ε не зависит от числа позиций в автоматической линии. Рост производительности оборудования φ определен по формуле (IX-4).

Относительное удорожание оборудования автоматической линии по сравнению с поточной

$$\sigma = \frac{T_{п.а.л}}{T_{п.п.л}} = \frac{Mq + \alpha M}{Mq} = 1 + \frac{\alpha}{q}, \quad (IX-8)$$

где M — усредненная стоимость одного станка в линии; αM — стоимость комплекта средств автоматизации (магазина-накопителя, транспортера, системы управления, контрольно-блокировочных устройств и др.) в кратных отношениях к стоимости одного станка.

Согласно принятому четвертому допущению

$$\delta\varphi = \sigma = 1 + \alpha/q, \quad (IX-9)$$

где δ — коэффициент изменения текущих затрат овещественного труда на единицу продукции. Подставляя полученные значения в формулу (IX-6), находим зависимость коэффициента роста производительности труда при создании автоматической линии взамен поточной:

$$\lambda = \frac{\gamma(1+B)[k+N(m+1)]}{(1+Bq)[(k+Nm)(1+\alpha/q)+N/\epsilon]}. \quad (IX-10)$$

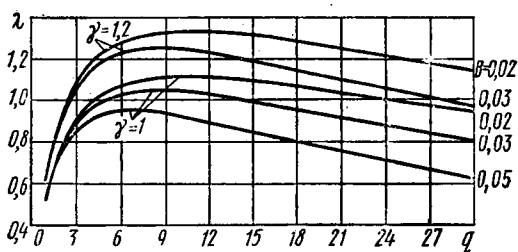


Рис. IX-3. Зависимость роста производительности труда λ от числа q — станков, блокируемых в автоматическую линию:
($k=5$; $m=0,3$; $N=10$; $\delta=3$; $\alpha=3$)

На рис. IX-3 представлены графики λ в зависимости от q при коэффициенте $\alpha = 3$, т. е. [дополнительные затраты на автоматизацию для блокирования станков в автоматическую линию в три раза больше средней стоимости одного станка. Характер кривых показывает, что с ростом q производительность труда растет до определенного предела, достигает экстремального значения и затем падает.

На рост производительности труда резко влияет рост цикловой производительности γ , что подтверждает важность повышения производительности рабочих машин. Особенно следует отметить влияние показателя относительных потерь B , который характеризует надежность станков. Из графиков (рис. IX-3) видно, что чем меньше надежность встроенного оборудования, тем меньше станков можно объединить в жесткую автоматическую линию. Так, при $B = 0,05$ $q_{\max} = 6$, а при $B = 0,02$ $q_{\max} = 12$ (при $\alpha = 3$), причем с увеличением относительных внецикловых потерь B каждого станка кривые λ располагаются ниже. Блокирование в автоматическую линию станков, имеющих низкую надежность ($B \geq 0,05$), приводит к тому, что при любом

количестве блокируемых станков автоматическая линия обеспечивает меньшую производительность труда, чем поточная линия.

Кривые (рис. IX-4) показывают зависимость роста производительности труда от затрат α на автоматизацию и от числа станков q . Кривые имеют такой же характер, как и в случае (на рис. IX-3); при этом, чем больше затраты на автоматизацию α , тем ниже рост производительности труда. Здесь, как и на графике (см. рис. IX-3), $\lambda = 1,0$ соответствует уровню производительности труда, достигаемому на поточных линиях.

С удешевлением средств автоматизации (уменьшением α) максимумы кривых смещаются влево, при этом рост производительности труда значительно повышается. С другой стороны, чем дороже средства автоматизации, тем больше станков следует объединять в автоматическую линию с жесткой связью, так как затраты на автоматизацию приходится на большее число станков.

Таким образом, та точка зрения, что рентабельными могут быть только короткие автоматические линии, не может считаться абсолютной. Так, при $\alpha = 9$ (см. рис. IX-4) целесообразно объединять в одну линию 18—20 станков. Если число станков в линии уменьшить вдвое, то даже при $\gamma = 1,2$ рост производительности труда на автоматической линии уменьшится, и линия окажется неэффективной ($\lambda = 0,95 \div 0,98$).

Величина $q_{\max}$, соответствующая максимальному значению роста производительности труда, может быть найдена аналитически. Взяв частную производную от q в уравнении (IX-10) и приравняв ее нулю, получим

$$q_{\max} = \sqrt{\frac{\alpha (k + Nm)}{B [k + N(m + 1/\epsilon)]}}. \quad (\text{IX-11})$$

Подставляя значение $q_{\max}$ в формулу (IX-10), получаем значение $\lambda_{\max}$, показывающее целесообразность создания автоматической линии (при $\lambda > 1$). Анализ формулы (IX-11) подтверждает выводы, что основными факторами, определяющими число блокируемых в автоматическую линию машин, являются надежность станков и стоимость средств автоматизации.

Определив $q_{\max}$ — число станков, которые целесообразно связать жесткой транспортной связью, можем установить оптимальный вариант структуры компоновки оборудования.

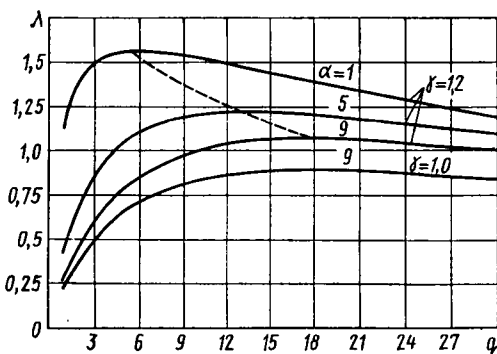


Рис. IX-4. Зависимость коэффициента λ от величины затрат α и количества станков q , блокируемых в линию:
($k=5$; $m=0,3$; $N=10$; $\delta=3$; $\alpha=3$)

Если в результате сравнения автоматической линии с поточной окажется, что $\lambda < 1$, то предпочтение следует отдать поточной линии. Если $\lambda > 1$, то следует выбрать автоматическую линию.

Рассчитав по формуле (IX-11) $q_{\max}$, следует сравнить ее величину с $q_{\text{техн}}$ — технологически минимальным числом позиций (см. гл. III) и определить число участков автоматической линии

$$n_y = q_{\text{техн}} / q_{\max}. \quad (\text{IX-12})$$

Если $q_{\max} = q_{\text{техн}}$, то $n_y = 1$; следовательно, линию надо компоновать как автоматическую линию с жесткой связью. В случае, когда $q_{\max} = 1$, то $n_y = q$ — линия с гибкой связью.

Если $1 < n_y < q_{\text{техн}}$, то оптимальным является вариант компоновки линии, разделенной на n_y участков.

Определим предельные требования к надежности рабочих машин и стоимости средств автоматизации в зависимости от требуемого уровня роста производительности труда λ . Подставив в формулу (IX-10) значение $q_{\max}$, после преобразований получим

$$\lambda = \frac{\gamma (1 + B) [k + N (m + 1)]}{(1 + \mu C) [(k + Nm) (1 + 1/\mu \cdot C) + N/\epsilon]}, \quad (\text{IX-13})$$

где для упрощения приняты следующие обозначения:

$$\mu = \sqrt{\frac{k + Nm}{k + N (m + 1/\epsilon)}}; \quad C = \sqrt{\alpha B}.$$

Решая уравнение (IX-13) относительно C , имеем

$$C = \frac{\sqrt{D^2 + 4A\lambda} [\gamma (1 + B) (A + N) - \lambda (A + N/\epsilon)] - D}{2A\lambda}, \quad (\text{IX-14})$$

где $A = k + Nm$; $D = \lambda [A(\mu + 1/\mu) + \mu N/\epsilon]$.

Таким образом, на основе зависимостей (IX-10), (IX-11) и (IX-14) можно при проектировании автоматической линии гарантировать заданный уровень роста производительности, блокируя в линию такое количество станков $q_{\max}$, которое позволит обеспечить получение требуемой величины λ . При этом одновременно определяются требования к уровню надежности блокируемых станков B и к допустимым затратам на дополнительные средства автоматизации α . Исходными данными здесь являются показатели поточной линии k и m и автоматической линии ϵ и γ .

На рис. IX-5 приведены графики зависимости C от уровня роста производительности труда λ при различных сроках службы оборудования N . Как видно, с возрастанием λ величина C падает, т. е. повышаются требования к уровню надежности станков B и величине затрат на средства автоматизации α . С сокращением сроков службы эти требования становятся еще более значительными.

Вычислив величину $C = \sqrt{\alpha B}$, можно, зная величину B , определить α (или наоборот). Вслед за этим можно рассчитать значение

$q_{\max}$ на основании равенства (IX-11) и значения μ по формуле

$$q_{\max} = \mu \sqrt{\alpha/B}. \quad (\text{IX-15})$$

Округляя полученный результат до целого числа и подставляя его в формулу (IX-10), получим скорректированную величину λ .

В качестве примера рассмотрим определение минимальных требований к надежности оборудования B и к стоимости средств автоматизации α при следующих значениях технико-экономических показателей: $k = 5$; $m = 0,3$; $\varepsilon = 3$ и $\gamma = 1,2$; заданном $\lambda = 1,2$; $N = 10$.

Подставляя исходные данные в формулу (IX-14), получаем $C = 0,32$. При этом возможны различные комбинации значений α и B . Так, при $C = 0,32$ возможен следующий ряд отношений B и α :

B	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
α	10,2	5,1	3,4	2,5	2,0

Как правило, по сравнению с уменьшением стоимости средств автоматизации возможность повышения надежности оборудования ограничена. Поэтому, задаваясь достигнутым уровнем надежности станков, блокируемых в автоматическую линию, и подставляя B в равенство $C = \sqrt{\alpha B}$ при известном значении C , найдем допустимое значение α .

Пусть $B = 0,02$. Тогда стоимость средств автоматизации не должна превышать пятикратной стоимости одного станка ($\alpha = 5,1$). Из формулы (IX-15) получаем

$q_{\max} = 13,4$, т. е. при данных ус-

ловиях наиболее целесообразно объединять в автоматическую линию с жесткой связью 13—14 станков, обеспечивая $\lambda = 1,2$. Если для рассмотренного примера при $B = 0,02$ действительные затраты на средства автоматизации могут быть меньше допустимых ($\alpha < 5,1$), то рост производительности труда может быть выше заданного значения ($\lambda > 1,2$). При этом количество блокируемых в автоматическую линию станков уменьшается.

Если затраты $\alpha = 4$, то получаем $q_{\max} = 12$. Рост производительности труда (по сравнению с поточной линией) в этом случае $\lambda = 1,27$, т. е. на 5,8% выше заданного. Если же эти затраты значительно превышают требуемый уровень ($\alpha = 9$), то максимальный рост производительности труда на автоматической линии ниже заданного и при $q_{\max} = 18$ составляет 1,07.

Рассмотрим выбор оптимальной структуры компоновки автоматической линии для обработки корпусной детали типа картера. В со-

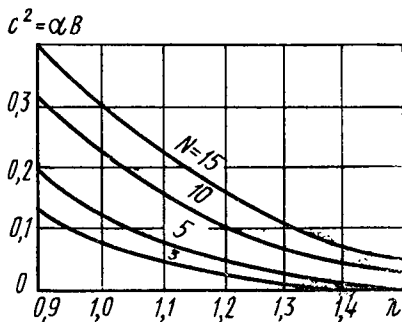


Рис. IX-5. Влияние коэффициента λ и сроков службы N автоматической линии на допустимые значения B и α

ответствии с разработанным технологическим процессом количество агрегатных станков в линии $q_{\text{техн}} = 16$, относительные их потери B составляют в среднем 0,02. Срок службы линии примем равным 10 годам ($N = 10$). Усредненная стоимость одного станка

$$M = 10\,440 \text{ руб.}$$

Комплект средств автоматизации (73 тыс. руб.) включает магазин-накопитель (20 тыс. руб.), транспортер (33 тыс. руб.), поворотный стол (10 тыс. руб.) и электрооборудование (10 тыс. руб.).

Относительная стоимость комплекта средств автоматизации может быть выражена так:

$$\alpha = 73\,000/10\,440 = 6,95.$$

Для решения поставленной задачи вычислим показатели поточной линии из 16 агрегатных станков и сравнительные коэффициенты для автоматической линии из тех же станков с учетом комплекта средств автоматизации.

Стоимость оборудования поточной линии (без учета дополнительных приспособлений для транспортирования изделий от станка к станку, стоимостью которых можно пренебречь) равна стоимости входящих в нее станков $T_{\text{п.п.л}} = 167,13$ тыс. руб.

Годовые текущие затраты прошлого труда при эксплуатации поточной линии $T_{\text{вп.л}}$ складываются из следующих основных статей: 1) расходы на текущий ремонт и обслуживание; 2) расходы на инструмент; 3) расходы на электроэнергию и составляют соответственно 12,4 тыс. руб., 1 тыс. руб. и 4 тыс. руб., т. е.

$$T_{\text{вп.л}} = 17,4 \text{ тыс. руб.}$$

Годовые затраты живого труда на поточной линии рассчитаем исходя на двухсменной работы линии, количества обслуживающих ее рабочих и среднемесячного уровня заработной платы. При $Z_o = 1$ и $Z_n = 4$ поточную линию из 16 станков в смену должны обслуживать 16 операторов и 4 наладчика. Среднемесячная зарплата оператора $Z_o = 120$ руб., наладчика — $Z_n = 140$ руб. Дополнительная зарплата с начислениями составляет 13,7%. Тогда годовой фонд заработной платы на поточной линии:

$$T_{\text{ж.п.л}} = (120 \cdot 16 + 140 \cdot 4) 2 \cdot 12 \cdot 1,137 = 67\,675 \text{ руб.}$$

Показатель технической вооруженности поточной линии

$$k = \frac{T_{\text{п.п.л}}}{T_{\text{ж.п.л}}} = \frac{167,13}{67,675} = 2,47.$$

Показатель энергоматериалоемкости поточной линии

$$m = \frac{T_{\text{вп.л}}}{T_{\text{ж.п.л}}} = \frac{17,4}{67,675} = 0,257.$$

Коэффициент сокращения затрат живого труда на автоматической

линии по сравнению с поточной согласно формуле (IX-7)

$$\epsilon = \frac{T_{\text{ж.п.л.}}}{T_{\text{ж.а.л.}}} = \frac{Z_0/Z_н + Z_н/Z_н}{Z_н/Z_н} = \frac{120/1 + 140/4}{140/4} = 4,43.$$

В соответствии с формулой (IX-11) количество станков, которое следует блокировать в автоматическую линию с жесткой связью,

$$q_{\text{max}} = \sqrt{\frac{\alpha(k + Nm)}{B[k + N(m + 1/\epsilon)]}} = \sqrt{\frac{6,95(2,47 + 10 \cdot 0,257)}{0,02[2,47 + 10(0,257 + 1/4,43)]}} = 15,5,$$

т. е. в рассматриваемом примере все 16 станков целесообразно жестко связать в единую автоматическую линию.

Приведенный анализ и методика расчета позволяют определить в каждом конкретном случае оптимальный вариант структуры компоновки оборудования, выявить требования к уровню надежности блокируемого в линию оборудования. Отметим, что максимальная надежность автоматической линии может оказаться экономически столь же нецелесообразной, как и минимальная надежность.

Изложенные выше методы расчета и выбора оптимальной структуры автоматических линий основаны на предположении о неизменных во времени эксплуатации параметрах стоимости, надежности в работе, эксплуатационных затрат, а также постоянной во времени загрузки линии, что является простейшим случаем.

Если эти определяющие факторы выбора структурной схемы являются переменными по времени (величины γ , B , $Z_н$, $Z_н$, а также требуемая производительность), то отдельным периодам эксплуатации линии соответствуют различные структурные варианты, оптимальные по своим экономическим показателям лишь для данного периода эксплуатации.

§ 2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Современными тенденциями развития ряда отраслей промышленности, где широко используются автоматические линии, являются резкое увеличение масштаба выпуска продукции и переменный нарастающий характер производственной программы в течение срока службы линий. Первая тенденция неизбежно приводит к переходу от однопоточных автоматических линий к многопоточным.

Так, система линий по обработке блока цилиндров двигателя автомобиля ЗИЛ-150 является однопоточной, так как рассчитана на 100 000 изделий в год; линии же обработки V-образного блока цилиндров двигателя ЗИЛ-130 имеют на некоторых участках до пяти параллельных потоков обработки.

Во многих случаях проектная мощность по выпуску изделий предприятиями достигается по прошествии нескольких лет; в результате, например, на заводе ЗИЛ многие автоматические линии через пять-шесть лет после ввода в эксплуатацию использовались лишь на 60—70% проектной мощности. Проведенные исследования показывают,

что в таких работающих с недогружкой автоматических линий установленные автоматические накопители, как правило, не используются, линии работают с жесткой межагрегатной связью, т. е. фактическая структура автоматических линий отличается от запроектированной, что приводит к снижению эффективности автоматизации.

Если автоматическая линия строится сразу по полной структурной схеме, с возможным уровнем производительности, который может потребоваться только через восемь—десять лет, то чем сложнее ее структурная схема, тем менее она выгодна по сравнению с неавтоматизированным производством по тому же технологическому процессу. Отсюда возникает проблема создания автоматических линий с переменной структурой компоновки. При переменном нарастающем характере планового выпуска продукции во многих случаях экономически целесообразно строить автоматические линии, которые в первый период эксплуатации имели бы минимальное технологически необходимое количество параллельных потоков на каждом технологическом участке и минимальное количество накопителей — из условия обеспечения производственной программы первого периода эксплуатации; линии с простейшей структурой имели бы и минимальную стоимость и минимум эксплуатационных затрат на единицу продукции.

В конструкции и планировке линии должна предусматриваться возможность встраивания новых участков-секций, новых накопителей и т. д., что принципиальных трудностей не представляет, так как параллельные потоки являются обычно конструктивно независимыми, а большинство накопителей — тупикового типа. В процессе нарастания производственной программы и требуемой производительности в линию должны добавляться новые участки — секции, накопители, что позволит в каждый период эксплуатации иметь количество оборудования в линии, возможно близкое к минимально необходимому.

В неавтоматизированном производстве разделение и соединение потоков изделий при использовании, например, рольгангов, лотков и других устройств не представляет трудностей, поэтому на каждой позиции можно иметь минимально необходимое количество станков в соответствии с фактической длительностью операции и требуемой производительностью. Так, для обеспечения планового выпуска картеров коробки перемены передач автомобиля ЗИЛ-130 согласно расчетам достаточно иметь поточную линию из 19 станков, причем только на пяти позициях из 14 необходимы станки-дублиеры. После пяти-шести лет эксплуатации в связи с ростом программы в линию необходимо добавить еще четыре станка, что и обеспечит заданную проектную мощность. Автоматические линии такой мобильностью структуры не обладают.

Наиболее просто решаются вопросы переменной структуры в автоматических линиях с гибкой связью, где секция состоит из одного станка. Необходимо лишь, чтобы транспортеры-распределители, питающие параллельно работающие станки, могли обслуживать и дополнительное оборудование. Эта задача решена, например, в автоматических линиях подшипниковой промышленности благодаря при-

менению транспортеров-распределителей. В подшипниковой промышленности накоплен опыт увеличения числа параллельно работающих станков в действующие автоматические линии, т. е. изменение структурной схемы автоматической линии в процессе ее эксплуатации. Так, в первом автоматическом цехе по производству шариковых подшипников ГПЗ на шлифовальном участке к четырем параллельно действующим станкам после нескольких лет эксплуатации был добавлен пятый. Во втором автоматическом цехе к двум параллельно работающим токарным автоматам модели КА-76 после трех лет эксплуатации добавлен третий, к пятнадцати внутришлифовальным автоматам модели Л54СЗ — еще три.

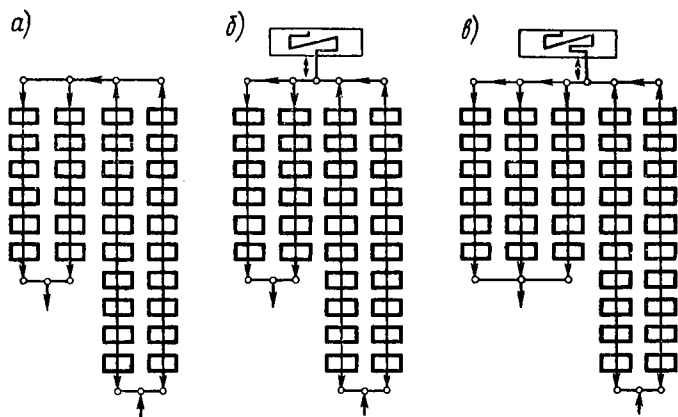


Рис. IX-6. Переменная структура автоматической линии Л185 обработки картера перемены передач автомобиля ЗИЛ-130

Переменная структура может быть применена и в линиях из агрегатных станков. Проиллюстрируем это на примере автоматической линии обработки картера коробки перемены передач автомобиля ЗИЛ-130.

Расчеты показывают, что в течение нескольких лет эксплуатации необходимый по плану выпуск продукции может быть обеспечен при двух параллельных секциях второго участка и без помощи накопителя (рис. IX-6, а). Таким образом, при первоначальной структуре линии из четырех секций (вместо пяти) и жесткой межагрегатной связи дополнительные вложения (по сравнению с неавтоматизированным производством) сократятся на 40%; на 15—17% снизится себестоимость выпускаемой продукции за счет уменьшения амортизационных отчислений, расходов на ремонт и обслуживание линии, заработную плату наладчиков и т. д.

Через четыре-пять лет, когда такая структура линии уже не в состоянии обеспечить растущую производственную программу, в линию необходимо встроить тупиковый магазин-накопитель (рис. IX-6, б), что позволит повысить производительность благодаря компенсации случайных простоев (см. гл. III).

На рис. IX-7 показана рассчитанная по формуле (III-39) диаграмма роста производительности автоматической линии 1Л85 при делении ее на участки, построенная по результатам проведенных эксплуатационных исследований: $q = 16$, $B = 0,03$; $\Delta = 0,1$; диаграмма показывает, что деление линии на два участка ($n_y = 2$) позволяет повысить ее производительность на 10—12% ($\varphi = 1,10—1,12$), на три участка — на 16—18% и т. д., при максимальном расчленении ($n_y = 16$) — более чем на 22—25%.

Как только резервы повышения производительности снова будут исчерпаны, в линию надо добавить третий параллельный поток второго участка (см. рис. IX-6, в), что позволит превысить ее проектную мощность на 15—20%.

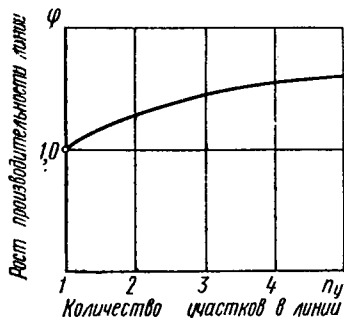


Рис. IX-7. Увеличение производительности автоматической линии при делении ее на участки (на примере линии 1Л85)

Возможен и второй вариант структурного развития линии — добавляется третий поток на втором участке, линия остается с жесткой связью. Диаграмма суммарных капитальных и эксплуатационных затрат при таком варианте структурного развития приведена на рис. IX-8. Как видно, автоматическая линия с переменной структурой (кривая IIб) уже с первого года эксплуатации дает значительную экономию в текущих эксплуатационных затратах по сравнению с поточной и автоматической линиями с постоянной структурой. Авто-

матическая линия минимальной сложности (рис. IX-6, а) может обеспечивать заданный выпуск продукции в течение шести лет, после чего необходимо добавлять оборудование. Так как в автоматической линии добавление оборудования возможно только целыми технологическими участками, то можно добавить третий поток на втором участке (см. рис. III-6, в) общей стоимостью около 90 тыс. руб. Диаграмма (рис. IX-8) показывает, что линия с переменной структурой обеспечивает окупаемость капиталовложений и при переменном нарастающем характере производственной программы. Заштрихованная область означает для каждого момента времени суммарную экономию на капитальных и эксплуатационных затратах благодаря переменной структуре линии; ее величина к концу сроков службы в 10—12 лет составит более 200 тыс. руб. на одну линию.

Таким образом, переменная структура многопоточных автоматических линий при нарастающем характере производственной программы повышает их эффективность и при этом имеет ряд преимуществ:

- 1) в линии можно встраивать механизмы и устройства более совершенной конструкции, на основе опыта эксплуатации действующих;

- 2) предприятие постоянно заинтересовано в изменении и использовании всех резервов повышения производительности линий; этого

не происходит, если линии простаивают 30—40% фонда времени из-за отсутствия заготовок;

3) требуемая емкость накопителей, степень компенсации потерь смежных участков, величина роста производительности определяются по фактическим эксплуатационным характеристикам линии, что невозможно в процессе ее проектирования, когда неизвестны ни реальная величина внецикловых потерь, ни их соотношение для разных участков;

4) в течение нескольких лет имеются резервные площади, которые можно использовать.

Принцип построения линий с переменной структурой, с регламентированным встраиванием оборудования в действующие автоматические линии применим не только к линиям из агрегатных станков, но и к другим типам линий с ветвящимися потоками обработки, например, как показано выше, к линиям подшипниковой промышленности. Предпосылками к этому являются:

1) корректировка производственной программы в связи с народнохозяйственной необходимостью;

2) неточная оценка на проектной стадии уровня надежности отдельных видов встроенного оборудования, что приводит к появлению непредусмотренных «узких мест», лимитирующих по производительности всю линию;

3) изменение на отдельных станках режимов обработки по сравнению с проектными, что может резко изменить соотношение между пропускной способностью оборудования линии на различных стадиях обработки.

Конструкция и планировка всех развитых многопоточных автоматических линий должна предусматривать возможность их структурного наращивания в процессе эксплуатации и в этом — один из путей повышения экономической эффективности автоматизации производственных процессов.

§ 3. ВЫБОР КОНСТРУКТИВНОЙ КОМПОНОВКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Конструктивная компоновка автоматической линии разрешает проблему пространственного расположения и связи отдельных позиций, транспортных и других устройств линии. К моменту разработки

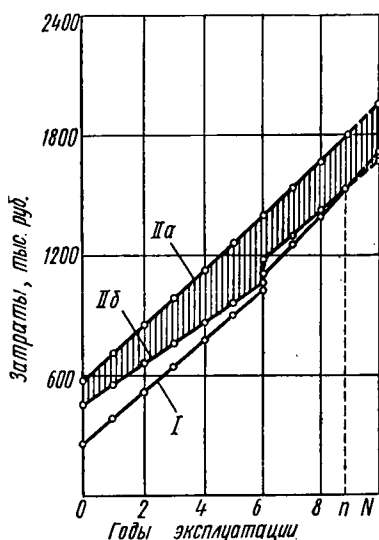


Рис. 1Х-8. Диаграмма суммарных (капитальных и эксплуатационных) затрат при различных вариантах производства картеров перемены передач ЗИЛ-130:

I — поточная линия с переменной структурой; IIa — автоматическая линия 1Л85; IIб — автоматическая линия с переменной структурой

конструктивной компоновки линии определена ее структурная схема, установлены необходимые элементы для реализации рабочих, холостых движений и проработана система управления линией.

На выбор компоновочного решения автоматической линии влияют многие факторы, в том числе:

1) заданная величина и форма участка производственной площади, отведенной под линию;

2) расположение несущих колонн в цехе;

3) нормативы наименьших допустимых расстояний между станками и механизмами автоматической линии, которые определяются требованиями техники безопасности и удобством обслуживания;

4) наличие и отсутствие приспособлений-спутников;

5) номенклатура и технические характеристики нормализованных узлов, которые могут быть использованы при компоновке;

6) направление общецеховых потоков обрабатываемых деталей и стружки и т. д.

Итоговыми выходными параметрами, определяющими выбор того или иного компоновочного решения линии, являются: дополнительные капитальные и эксплуатационные затраты на линию (сверх затрат на основное технологическое оборудование), быстродействие линии — в том числе время холостых ходов цикла, а также надежность в работе принятых конструктивных элементов и их сочетаний. Несмотря на то, что выбор конструктивного варианта зависит от целого ряда факторов, в том числе от условий заказа линий, возможностей завода-изготовителя линии и других требований, задача определения компоновочного решения, как правило, является многовариантной. При одной и той же структурной схеме автоматической линии возможны различные компоновочные решения. Прежде всего можно широко варьировать выбор узлов и элементов для реализации цикла работы линии. Например, в автоматической линии с жесткой связью транспортер может быть выполнен по ряду вариантов — с собачками, с флажками; с гидроприводом, с кулисным приводом; толкающего или тянущего типа и т. д. Пространственное расположение узлов линии также чрезвычайно разнообразно.

Так, в автоматических линиях с приспособлениями-спутниками возникает необходимость возврата спутников к началу линии, что существенным образом влияет на выбор ее компоновки. Возврат спутников может выполняться как вхолостую, так и по рабочим позициям; с обработанными деталями и без них. Возврат спутников с деталями дает возможность одному и тому же оператору устанавливать и снимать детали со спутников в одном месте — в начале линии. Если в соответствии со схемой транспортных потоков в цехе выдача обработанных деталей производится в конце линии, возврат спутников производится без деталей.

Снимать детали со спутников можно вручную и автоматически. В автоматических линиях с холостым возвратом спутников возможны различные варианты расположения транспортера возврата: под рабочими позициями, над рабочими позициями, рядом с рабочими позициями, сбоку ниже уровня основного транспортера, сбоку выше

уровня основного транспортера, сбоку на уровне основного транспортера (см. гл. VI); при этом каждый вариант имеет преимущества и недостатки. Поэтому решение задачи обоснования и разработки конструктивной компоновки автоматической линии базируется главным образом не только на количественной оценке вариантов по стоимости, быстроедействию и другим показателям, но также и на качественной оценке, используя сравнительный анализ различных вариантов.

Таким образом, при конструктивном оформлении автоматической линии надо выполнить следующие основные этапы:

а) сформулировать исходные данные (структурная схема, условия заказа линии, возможности завода-изготовителя и т. д.);

б) проработать всю совокупность возможных компоновочных вариантов автоматической линии;

в) выполнить сравнительный анализ и оценку этих вариантов и выбрать целесообразный вариант конструкции линии.

Рассмотрим решение задачи выбора компоновочного решения на примере автоматических линий с гибкой связью. Как показано в гл. VII, в автоматических линиях с гибкой связью путем различных комбинаций механизмов можно иметь большое разнообразие транспортных систем одинакового функционального назначения, следовательно, и конструктивная компоновка таких автоматических линий будет многовариантна.

Наиболее разнообразными в конструктивном исполнении в транспортных системах являются транспортеры-распределители (см. гл. VII, § 2), поэтому в основу классификации возможных компоновок транспортных систем и линий в целом целесообразно положить метод перемещения и распределения деталей в транспортерах-распределителях автоматических линий.

Классификация транспортных систем по данному принципу позволяет установить четыре группы системы:

1) транспортные системы с гравитационным перемещением — простейшие системы, где перемещение и распределение деталей по станкам происходит под действием сил веса в наклонных лотках качением либо скольжением;

2) транспортные системы принудительного перемещения деталей качением — системы, в которых используется свойство деталей типа дисков и колец катиться в направляющих;

3) транспортные системы принудительного перемещения деталей скольжением — системы, в которых детали транспортируются проталкиванием, скольжением по направляющим;

4) транспортные системы принудительного перемещения деталей на транспортирующем органе — системы, в которых детали перемещаются фиксированными, либо покоящимися на движущихся и колеблющихся органах транспортных устройств.

На рис. IX-9 представлены типовые варианты перемещения и распределения изделий в транспортерах-распределителях автоматических линий с гибкой связью. Схема гравитационного перемещения деталей показана на рис. IX-9, а в виде лоткового транспортера, по

которому детали скатываются к окнам выдачи и затем к станкам.

В системах (рис. IX-9, *г* и *ж*) перемещение деталей происходит поштучно качением поводками цепи тягового органа. Схема (рис. IX-9, *ж*) отличается от схемы (рис. IX-9, *г*) замкнутой траекторией качения деталей с распределением их по станкам на нижней ветви.

В системе (рис. IX-9, *а*) транспортирование деталей происходит путем проталкивания их скольжением по направляющим с применением возвратно-поступательного движения механизма с откидными захватами или кулачками. Перемещение детали происходит при поступательном движении приводного органа, кулачки которого проталкивают детали по лотку или плоскости желоба к окнам выдачи. При обратном движении кулачки откидываются, тем самым пропускают очередную деталь, а затем захватывают их, вновь повторяя цикл движений.

На рис. IX-9, *б, в* представлены схемы ленточного транспортера для подачи деталей вплотную с подпором, когда они перемещаются до заслонок окна выдачи, при этом лента проскальзывает под деталями; детали с боков направляются стенками лотка. Транспортная лента может представлять собой резиновое полотно, стальную ленту, различного рода цепи. Схема (рис. IX-9, *б*) отличается от схемы (рис. IX-9, *в*) тем, что детали лежат торцом на ленте и могут проскальзывать

только при наличии препятствия в виде упоров или заслонки. На схеме (рис. IX-9, *в*) при движении ленты детали контактируют с ней и со стенками лотка, в результате чего они могут перекатываться, и скорость перемещения уменьшаться. Детали, дошедшие до

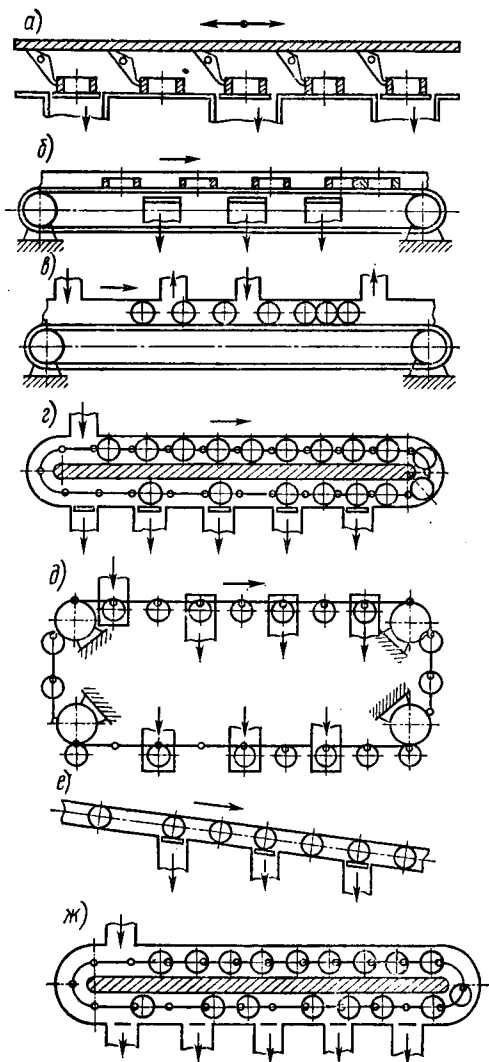


Рис. IX-9. Типовые варианты схем транспортеров-распределителей

упора, останавливаются и лента транспортера проскальзывает под ними. На схеме (рис. IX-9, д) показан штыревой транспортер, в котором детали типа колец перемещаются подвешенными на штыри, в этом случае детали транспортируются в пространстве и снимаются в нескольких местах выдачи.

Наиболее простыми транспортными системами автоматических линий обработки деталей типа дисков и колец являются системы гравитационного перемещения.

На рис. IX-10 представлена транспортная система токарного участка автоматического цеха № 2 (АЦ-2) ИГПЗ. Она состоит из подъемника 3 с приводом 4, распределительного тросового лотка 5, под-

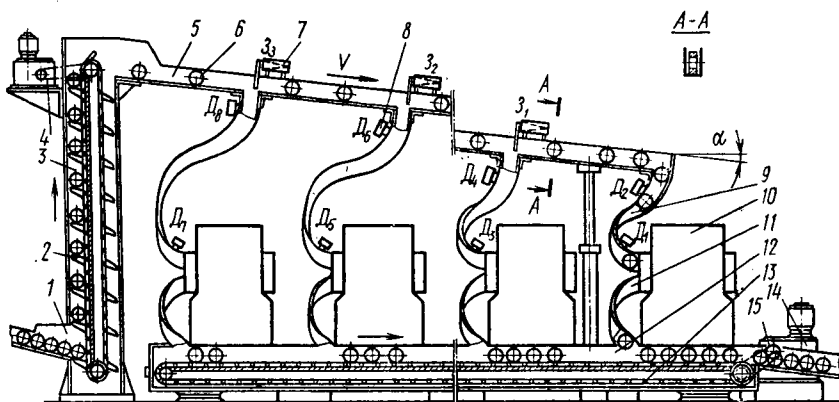


Рис. IX-10. Схема транспортной системы токарного участка автоматического цеха № 2 (АЦ-2) ИГПЗ:

1 — приемный лоток; 2 — захваты транспортера-подъемника элеваторного типа; 3 — шахта транспортера-подъемника; 4 — привод транспортера-подъемника; 5 — распределительный тросовый лоток; 6 — заготовки, которые перемещаются по лотку качением; 7 — заслонки; 8 — датчики переполнения подводящих лотков; 9 — подводящие лотки станков; 10 — станки, встроенные в линию; 11 — отводящие лотки станков; 12 — отводящий транспортер; 13 — ролико-втулочная цепь транспортера; 14 — привод отводящего транспортера; 15 — отводящий лоток к следующему участку

водящих 9 и отводящих 11 лотков, отводящего транспортера 12 с приводом 14 и электроавтоматики управления рабочей системы.

Работа транспортера происходит следующим образом. Заготовки, поступая в цепной подъемник 3, направляются в распределительный тросовый лоток 5, скатываясь по которому к подводящим лоткам 9, они поступают в станки 10; после обработки кольца падают по отводящим лоткам 11 и транспортеру 12 перемещаются на следующий участок.

Электроавтоматика транспортной системы служит для согласования работы центрального подъемника с работой станков, а также сигнализации и предохранения механизмов от возможных поломок при переполнении кольцами лотков-накопителей. Электроавтоматика включает в себя датчики $D_1—D_8$, заслонки $З_1—З_3$ с электромагнитами. Система работает по принципу предпочтения подачи колец дальнему станку от подъемника. Отсутствие заготовок в дальнем

станке 10 сигнализируется датчиком D_1 , который открывает все заслонки $Z_1—Z_3$, несмотря на отсутствие или наличие заготовок в предыдущих станках. При заполнении лотка-накопителя 9 датчик D_2 дает сигнал на закрытие заслонки Z_1 , и заготовки начинают поступать в лоток-накопитель предыдущего станка до уровня датчика D_4 , который в свою очередь дает сигнал на закрытие заслонки Z_2 .

Работа других датчиков, встроенных в лотки-накопители, аналогична. Датчик D_5 ближнего к цепному подъемнику станка при заполнении лотка дает команду на отключение подъемника, тем самым прекращается подача заготовок в лоток-распределитель 5. Команда на включение подъемника 3 поступает от любого из датчиков D_1, D_3, D_5, D_7 , сигнализирующих об отсутствии заготовок в лотках-накопителях. Разная величина емкостей лотков-накопителей позволяет в какой-то мере производить равномерную загрузку кольцами станков-автоматов.

Транспортная система допускает разделение подводящих лотков 9 на два потока. Это выполняется в том случае, если на одном станке одновременно обрабатываются два кольца.

Транспортная система с наклонным трассовым лотком проста по конструкции, является не сложной в изготовлении, однако имеет ряд существенных недостатков. Оптимальная высота расположения нижнего конца наклонного трассового лотка выбирается из условия нормального обслуживания дальнего от подъемника станка. Следовательно, верхний конец располагается на значительной высоте от уровня пола, что вызывает значительные неудобства при чистке, ремонте и подналадке узлов системы. Скорость движения колец не управляема и катящиеся кольца, достигая нижнего конца трассового лотка, приобретают значительную кинетическую энергию, что может вызвать появление забоин, деформации элементов устройств систем, снижает долговечность ее работы. Транспортное устройство имеет сложную систему электроавтоматики распределения деталей по станкам.

При высоких режимах работы автоматической линии или при большом количестве встроенных станков-автоматов принятая система автоматики не обеспечивает равномерную загрузку станков. Поэтому транспортные системы с гравитационным распределением деталей рассмотренной схемы не рационально применять для высокопроизводительных линий и линий большой протяженности.

Создание транспортной системы с простой системой управления и распределения деталей по станкам обусловило создание многолоткового гравитационного распределителя, где каждый лоток обслуживает закрепленный за ним станок (рис. IX-11).

Система состоит из бункера 13, механизма загрузки заготовок 12, подъемников толкающего типа 2, 10 с гидроприводами 7, лотковой системы 4 и подводящих лотков 3. Работает транспортная система следующим образом. Заготовки из бункера 13 механизмом загрузки 12 выдаются одновременно в многозахватный гидравлический подъемник 2 и затем в наклонный многожелобчатый лоток 4. Заготовки, скатываясь по желобам лотка 4, попадают в приемные окна 5 с электро-

магнитными отсекающими, работающими в одном ритме со станками, и затем по пружинным гибким лоткам 3 в станки 11. В случае заполнения желоба наклонного лотка 4 заготовками лишние из них, подаваемые подъемником 2, возвращаются по лоткам 1 в бункер 13. Обработанные кольца подъемниками 10 возвращаются в соответствующие ручки лотковой системы 4, скатываясь по которым, подаются в лотки 9 и затем на следующий участок. Гидропривод подъемников работает от гидросистемы автооператора станка аналогично приемнику 5, получая команды от суппорта станка.

Конструктивно схема выполнена просто, однако ей присущи недостатки транспортеров с наклонным лотком гравитационного

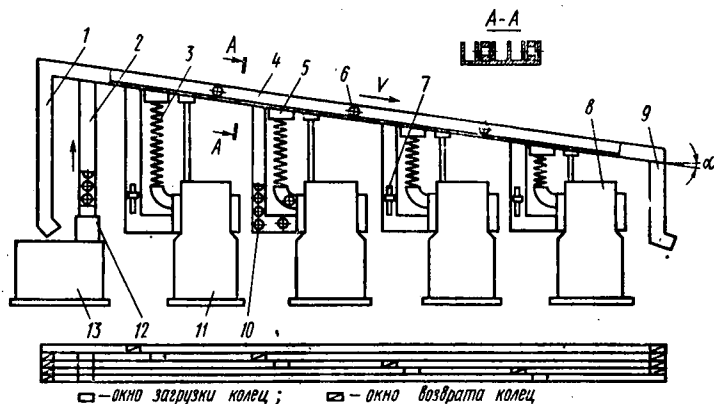


Рис. IX-11. Схема транспортной многолотковой системы

перемещения деталей. Установка подъемников возле каждого станка усложняет конструкцию и увеличивает затраты электроэнергии.

В автоматических линиях с параллельным потоком обработки наибольшее применение на предприятиях подшипниковой промышленности получили транспортные системы конструкции Боброва. Первые транспортные системы этой конструкции были встроены в автоматические линии автоматического цеха № 1 (АЦ-1) 1ГПЗ. Принципы проектирования, отладки и опыт эксплуатации транспортного оборудования этого цеха позволили в дальнейшем усовершенствовать ее конструкцию. В настоящее время эта транспортная система переработана с точки зрения унификации и нормализации узлов и механизмов Московским специальным конструкторским бюро автоматических линий и специальных станков (МСКБ АЛ и СС).

На рис. IX-12 представлена типовая транспортная система МСКБ АЛ и СС, состоящая из транспортера-подъемника 5, транспортера-распределителя 8 с приводом 12, отводящего транспортера 16 с приводом 14, подводящих и отводящих лотков 10, 4 и электроавтоматики, согласовывающей работу всех механизмов автоматической линии. Подъемники 5, встраиваемые в транспортную систему, конструктивно исполняются в двух вариантах: цепными и толкающими. Транспор-

тер-распределитель 8 составлен из секций, из которых можно собирать транспортеры разной длины. Внутри секций расположен удлиненный кольцевой канал. Там же смонтированы натяжная и приводная звездочки, через которые переброшена втулочно-роликовая цепь 9 с прикрепленными на ней с определенным шагом поводками 7, образующими ячейки. Заготовки, поступаая в приемный лоток 1, поштучно выдаются отсекающими на подающий орган транспортера-подъемни-

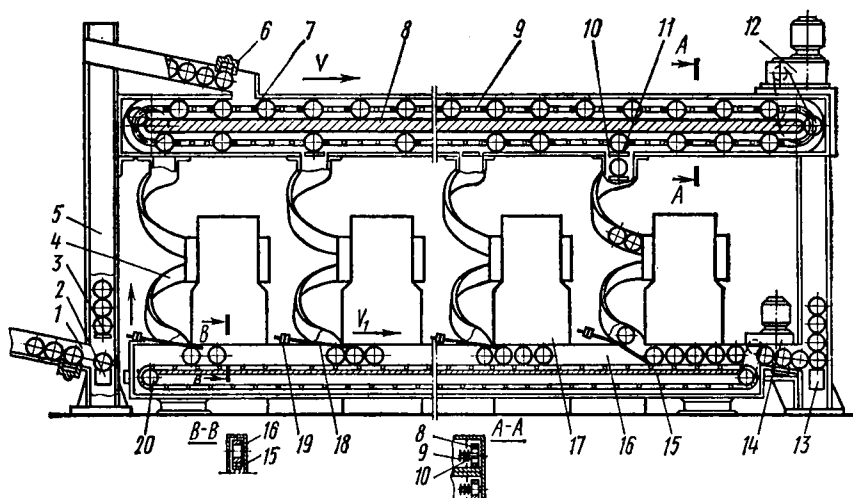


Рис. IX-12. Схема типовой транспортной системы с принудительным перемещением деталей МСКБ АЛ и СС:

1 — приемный лоток; 2 — толкатель транспортера-подъемника; 3 — собачка, удерживающая заготовки в подъемнике при обратном ходе толкателя; 4 — отводящие лотки; 5 — транспортер-подъемник; 6 — механизм загрузки; 7 — поводки; 8 — транспортер-распределитель; 9 — роliko-втулочная цепь; 10 — подводящие лотки; 11 — механизм выгрузки; 12 — привод транспортера-распределителя; 13 — толкатель транспортера-подъемника последующего участка; 14 — привод отводящего транспортера; 15 — роliko-втулочная цепь отводящего транспортера; 16 — отводящий транспортер; 17 — станки, встроенные в линию; 18 — замедляющее устройство; 19 — противовес; 20 — натяжная звездочка отводящего транспортера

ка 5 и по лотку выдачи поступают в механизм загрузки 6, который выдает их в свободные ячейки верхней ветви транспортера-распределителя. Поводками 7 цепи 9 заготовки перемещаются на нижнюю ветвь транспортера, откуда механизмами выгрузки 11 подаются по подводящим лоткам 10 в станки 17. В случае переполнения подводящих лотков механизмы выгрузки заготовок 11 пропускают их и они циркулируют в транспортере-распределителе.

Обработанные кольца по отводящим лоткам 4 поступают в отводящий транспортер 16, который перемещает их к следующему участку обработки.

Циркулирующее движение деталей в транспортере-распределителе позволяет резко упростить систему управления и распределения деталей по станкам и создать условия независимой работы встроенных

станков-автоматов, чего невозможно достичь при других схемах транспортных систем.

Достоинством этой системы является относительная легкость наращивания ее по секциям, что позволяет компоновать линии с различным числом станков.

На рис. IX-13 представлена схема системы, в которой транспорт-распределитель и отводящий транспортер объединены в единый распределительно-отводящий транспортер. Она включает гидравли-

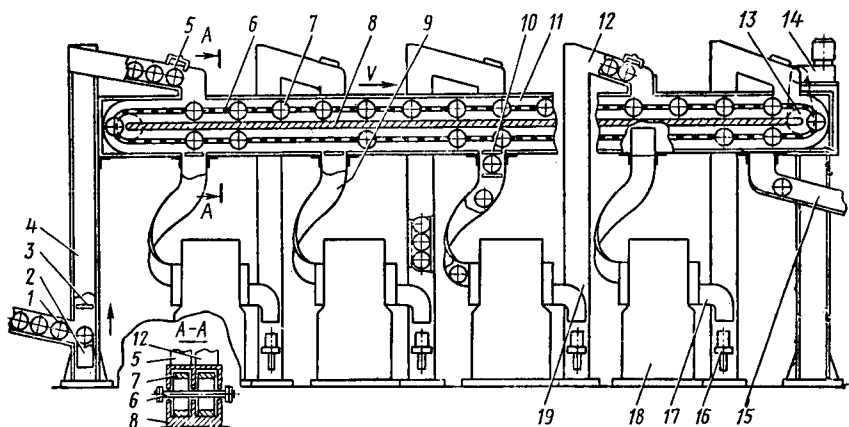


Рис. IX-13. Схема транспортной системы с единым распределительно-отводящим транспортером:

1 — приемный лоток; 2 — толкатель подъемника; 3 — удерживающая собачка подъемника; 4 — шахта подъемника; 5 — отсекатель; 6 — тяговая роliko-втулочная цепь с поводками; 7 — перемещаемые заготовки; 8 — основание лотка верхней ветви транспортера-распределителя; 9 — подводящий лоток автомата; 10 — механизм выдачи колец с транспортера на лоток; 11 — боковые стенки лотка транспортера; 12 — лоток транспортера-подъемника; 13 — приводная звездочка цепи транспортера-распределителя; 14 — привод транспортера; 15 — отводящий лоток к следующему участку; 16 — привод толкателя транспортера-подъемника; 17 — отводящие лотки станков; 18 — станки; 19 — транспортер-подъемник

ческие подъемники 4, 19 толкающего типа, распределительно-отводящий транспортер 11 с приводом 14, подводящие 9 и отводящие лотки 17. Заготовки по лотку 1, поступая в подъемник 4, поднимаются и выдаются отсекателем 5 в один из каналов транспортера-распределителя, работа которого аналогична работе транспортера, приведенного на рис. IX-12. После обработки на станках 18 кольца по отводящим лоткам 17 поступают в подъемники 19 и затем по лоткам 12 попадают через механизмы загрузки во второй канал транспортера и далее по лотку 15 передаются на следующий участок.

Транспортер-распределитель и отводящий транспортер могут выполняться с независимым приводом.

Недостатками конструкции этой транспортной системы являются неудобство в обслуживании и ремонте узлов и механизмов системы, трудность отыскания застрявшего кольца в цепном транспортере и др. Наличие большого числа подъемников толкающего типа вызывает

накопление большого неиспользованного задела колец и увеличивает затраты энергии, потребляемой транспортной системой.

Транспортная система для многопоточной линии (рис. IX-14) включает станину 21, на которой смонтированы последовательно расположенные качающиеся лотки 13 с распределительными и отводящими желобами, гидропривод 8, подъемники толкающего типа с гидроприводами 11, подводящие и отводящие лотки 5, а также механизмы контроля наличия заготовок в лотках, вызова заготовок, подачи заготовок, питатели 4, качающиеся лотки 7 и 13. Эти лотки смонтированы одними концами на стойках в шарнирах 17, а другими могут перемещаться в вертикальной плоскости от приводного меха-

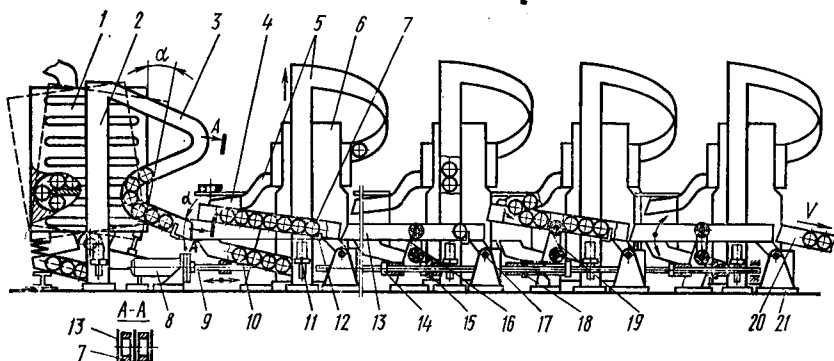


Рис. IX-14. Схема транспортной системы многопоточной линии

низма. Приводной механизм представляет собой штангу 9 с закрепленными упорами 14 и свободно скользящими по ней втулками 15 и 18, которые через гибкие тяги 16 и 19 соединены с лотками 7 и 13. Штанга 9, перемещаясь возвратно-поступательно от гидроцилиндров 8, осуществляет качание лотков вокруг шарниров 17.

Оба желоба каждого лотка снабжены механизмами: контроля наличия заготовок, вызова и подачи их. Работа этих механизмов зависит от потребления заготовок следующим лотком, который вызывает их из предыдущего. Заготовки из магазина-накопителя 1 по подъемнику 2 и наклонному лотку 3 поступают в распределительный желоб первого лотка 7, качанием которого они перекатываются во второй лоток 13.

Одновременно с первым лотком поднимаются все нечетные лотки, а четные лотки занимают горизонтальное положение. Под распределительными желобами качающихся лотков смонтированы лотки 10, в которые заготовки поступают при открывании ограничителей 12, а подъемниками подаются в станки 6.

От станков обработанные кольца по лоткам поступают к питателям 4, откуда в качающиеся лотки для дальнейшего транспортирования по отводящим желобам.

Транспортер предназначен не только для перемещения изделий, но и для распределения их по станкам на всем пути транспортирования и из любого лотка. Поэтому производительность транспортера зависит от фактической производительности станков. Изделия из предыдущего лотка в последующий поступают только тогда, когда они в последнем отсутствуют. Для этой цели каждый лоток снабжен механизмом контроля наличия в нем изделий и системой их вызова из предыдущего лотка.

Как видно из схемы (рис. IX-14), такая транспортная система громоздка, состоит из большого количества сложных механизмов. Вытягивание цепей приводит к изменению «шагов» заслонок, подъемников, кулачковой цепи и тяговой цепи, в результате чего заготов-

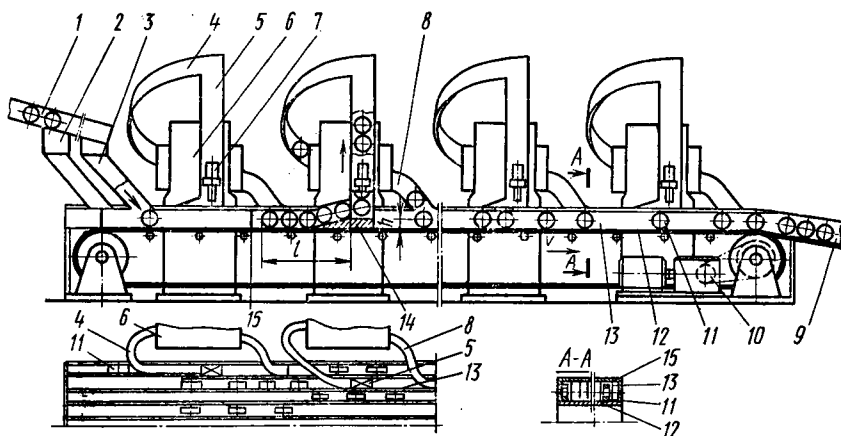


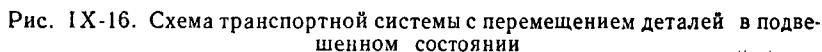
Рис. IX-15. Схема транспортной системы с металлической лентой

ки и кольца не попадают точно в места выгрузки, тем самым может происходить либо заклинивание механизмов, либо кольца проходят свои окна выгрузки и попадают в другие станки. Длительность прохождения заготовкой всей трассы значительна, что вызывает простои оборудования при отсутствии заготовок. При увеличении скорости перемещения тяговой цепи кольца и заготовки могут отходить от толкающих кулачков; это приводит к тем же результатам, что и вытягивание цепей.

Транспортные системы с перемещением деталей на несущем органе появились как следствие необходимости упорядоченного, регламентированного транспортирования деталей. В этих системах транспортирующий орган, на котором покоятся детали, выполнен в виде прорезиленных, стальных лент или в виде цепей.

Детали размещаются непосредственно на транспортирующем органе, либо фиксируются на нем определенным образом. Типовая компоновочная схема такой системы приведена на рис. IX-15. Она состоит из транспортной ленты 12, привода 10, подъемников 5 толкаю-

Заготовки, поступая по лотку 1, выдаются механизмами 2 через лотки 3 на транспортную ленту 12. На ленте неподвижными стенками 13 образуются ручки, количество которых равно количеству обслуживаемых станков 6. Сверху ручки закрываются крышкой 15. На пути движения заготовок устанавливается клин 14, подходя к которому они накатываются на его наклонную плоскость. Для того чтобы происходило это накатывание, необходимо перед клином иметь определенное количество заготовок на длине l с тем, чтобы трение



Пройдя наклонную плоскость клина, заготовка попадает на призму подъемника, установленного в ручьях сзади клина, перемещаясь вверх по лоткам 4, она поступает в станки 6.

На рис. IX-16 показана распределительно-сборочная транспортная система, оригинальность которой состоит в том, что кольца перемещаются в подвешенном состоянии. Она состоит из корпуса, приводного устройства 9, натяжной станции 14, механизмов съема 7 колец 4, механизмов навески колец 3, 13, бесконечно-замкнутой цепи 6 с прикрепленными к ней с постоянным шагом подвесками 5, лотков 11, 12 подачи колец к станкам 10 и их отвода, лотка 1 для подвода деталей к транспортеру из магазина-накопителя 15 и лотка 8 для отвода обработанных изделий от транспортера.

Заготовки, поступающие на обработку, подводятся лотком 1 к механизму 3, связанному с отсекателем 2 поштучной выдачи колец. Механизм 3 кинематически связан с цепью 6 и навешивает кольца на подвески 5 через каждые два шага между подвесками. Цепь 6 приводится в движение приводом 9 и перемещает кольца 4, надетые на подвески 5, по верхней ветви транспортера, где смонтированы механизмы 7 съема колец с подвесок 5, работающие с ритмом два шага.

Затем кольца под действием силы тяжести скатываются по лоткам 11 к станку 10. Обработанные кольца поступают из станков по лоткам 12 к механизмам навески 13, которые навешивают их на подвески 5 с ритмом два шага между подвесками, но со смещением на один шаг относительно подвесок, несущих необработанные кольца. Обработанные кольца перемещаются на верхнюю ветвь транспортера, снимаются с подвесок механизмом и отводятся от транспортера лотком 8. Изменяя ритм навески и съема колец на три-четыре и более шагов между подвесками, можно обеспечить одновременную подачу и отвод колец двух и более типоразмеров или при обработке одного типоразмера адресованный подвод колец к станкам, а также отвод их от станков.

Метод транспортирования навешенных колец в пространстве устраняет всякую возможность застревания колец, которая возможна во всех остальных конструкциях систем, где кольца перемещаются качением, либо скольжением в лотках, желобах, подверженных загрязнению, износу, разрегулировке и т. п.

К недостаткам транспортной системы относятся: перекося цепи под действием веса колец, навешенных с одной стороны цепи на консолях, неизбежные неточности изготовления цепи, в результате чего блокировка может не сработать и навесить второе кольцо на подвеску, что приведет к застреванию кольца и деформации подвески. Ввиду того что транспортная система представляет собой единое распределительно-сборочное устройство, выход из строя любого его узла может вызвать останов всей системы.

Приведенный краткий обзор (см. рис. IX-10—IX-16) показывает, что реализация одной и той же структурной схемы — многопоточной линии с гибкой связью с идентичным функциональным назначением транспортно-загрузочной системы — может быть выполнена по различным конструктивно-компоновочным вариантам, которые отличаются различными вариантами конструктивных элементов (подъемников, транспортеров-распределителей, отводящих транспортеров и т. д.).

Отметим следующие основные варианты типовых механизмов и устройств транспортных систем линии с гибкой связью.

А. Подъемники: 1 — толкающие; 2 — элеваторные.

Б. Транспортеры-распределители, классифицируемые по двум признакам: а) по характеру перемещения изделий: 1 — гравитационные, 2 — с принудительным перемещением качением, 3 — с принудительным перемещением скольжением, 4 — с перемещением в захватах; б) по числу потоков изделий: 1 — одножелобные, 2 — многожелобные.

В. Механизмы подачи изделий к станкам: 1 — лотковые (один вариант).

Г. Механизмы отвода изделий от станков: 1 — лотковые (один вариант).

Д. Собирающие отводные транспортеры: 1 — гравитационные; 2 — с принудительным перемещением.

Нетрудно видеть, что различные комбинации типов вышеуказанных функциональных узлов образуют компоновочные варианты, которые можно систематизировать и наглядно изобразить с помощью ветвящегося графа, приведенного на рис. IX-17.

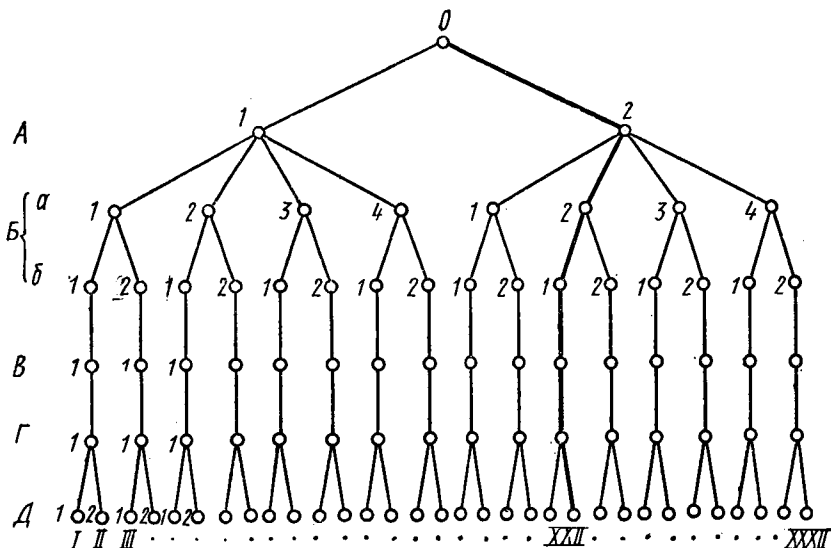


Рис. IX-17. Граф компоновочных вариантов транспортной системы линии

Количество функциональных узлов А, Б, В, Г, Д и их разновидностей (по числу классификационных признаков) определяют число шагов графа. Нетрудно видеть, что с учетом количества вариантов каждого из функциональных узлов А—Д общее число компоновочных вариантов линии составляет $2 \times 4 \times 2 \times 1 \times 1 \times 2 = 32$ (на рис. VIII-17 обозначены номерами I—XXXII). Так, например, компоновка, приведенная на рис. IX-12, включает элеваторный подъемник (вариант А-2), транспортер-распределитель с качением изделий (вариант Б-а-2) по одному желобу (вариант Б-б-1), лотковые механизмы подачи и отвода изделий (варианты В-1, Г-1), цепной отводящий транспортер (вариант Д-2). Это сочетание, отмеченное на рис. IX-17 ломаной жирной линией, в общей совокупности компоновочных вариантов транспортной системы в целом означает вариант XXXII.

Формирование совокупности возможных компоновочных вариан-

гов реализации структурной схемы линии является основой выбора оптимального компоновочного варианта, который должен отвечать ряду условий:

- 1) обеспечение подачи деталей к станкам автоматической линии независимо от количества деталей на каждой операции;
- 2) обеспечение независимой работы станков в линии;
- 3) при выходе из строя какого-либо станка в его загрузочном устройстве не должно быть запаса деталей и заготовок;
- 4) обеспечение линейной компоновки линии, что имеет важное значение при планировке цеха, учитывающей расположение систем отвода отходов, стружки, систем подземной коммуникации и расположения различных служб цеха;
- 5) удобство проведения ремонта и обслуживания;
- 6) потребление как можно меньшего количества энергии;
- 7) системы должны занимать малые производственные площади;
- 8) возможность создания узлов и устройств систем из унифицированных и нормализованных элементов;
- 9) простота конструкции системы и ее управления.

В последнее время появилась тенденция к созданию комплексных транспортных систем, обслуживающих станки разнотипных операций или обработки разнотипных деталей.

В этом случае транспортные системы, перемещающие разные кольца, должны быть снабжены механизмами автоматического адресования колец, что, естественно, требует устройств перемещения деталей поштучно.

Исходя из проведенного анализа конструкций транспортных систем автоматических линий с гибкой связью можно сделать рекомендации по проектированию и применению перспективных конструктивных вариантов:

1. Следует считать перспективными конструкции транспортных систем с устройствами отдельного перемещения колец:

а) транспортеров-распределителей заготовок колец между станками с верхним расположением и замкнутой траекторией движения колец, что уменьшает занимаемые производственные площади и упрощает систему управления;

б) транспортеров, отводящих от станков обработанные кольца нижнего расположения, уменьшающее количество необходимых подъемников и потребление энергии.

2. Из элементов, узлов, механизмов конструкций систем транспортирования можно рекомендовать для систем многопоточного обслуживания с верхним расположением транспортеров-распределителей колец цепные подъемники, конструкции цепных транспортеров-распределителей с отдельными перемещениями колец, отводящие транспортеры с расположением на незначительной высоте над полом, удобные в очистке и подверженные меньшему загрязнению; на участках токарных операций отвод стружки от станков делать в противоположную сторону от расположения отводящего транспортера, либо непосредственно под станком, что резко снижает засоряемость системы отвода колец стружкой.

3. Для линий с небольшой программой выпуска, которую могут обеспечить несколько станков (2—4), целесообразно строить гравитационные системы с наклонным магистральным распределительным лотком (схема, рис. IX-10) как более простые.

4. На линиях, состоящих из большого количества станков, производящих однотипные операции с циклом работы станков $T_{\text{ц}} = 0,5 \div 1$ мин, рациональны конструкции по схеме (рис. IX-12).

5. Линии с коротким циклом работы станков $T_{\text{ц}} = 1 \div 5$ с требуют высокопроизводительной транспортной системы с механизмами принудительной загрузки и выгрузки деталей и устройствами их перемещения к подаче.

§ 4. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Проектирование автоматических линий является сложной задачей, включающей расчет и выбор технологических, структурных, компоновочных, конструктивных и эксплуатационных параметров.

В техническом задании на проектирование автоматической линии содержится, как правило, минимальное количество исходных данных, определяющих требования качества и количества обрабатываемых изделий, а также конкретные условия эксплуатации и использования линии. К ним относятся:

1) требования качества — чертежи заготовки и обрабатываемой детали со всеми техническими условиями на точность формы, размеров и взаимного положения обрабатываемых поверхностей;

2) требования количества — заданная программа выпуска и ее наращивание по годам, сменность работы;

3) дополнительные условия — планировка цеха или участка, где намечено смонтировать автоматическую линию, с указанием мест проходов и проездов, расположения колонн; данные о цеховой энергосистеме и пневмосети и т. д.

Все остальные параметры—методы, маршрут и режимы обработки; количество рабочих и холостых позиций, потоков обработки, участков-секций; количество и тип межоперационных накопителей; тип и функции системы управления; компоновочная схема, тип основного оборудования, механизмов и устройств; количество обслуживающих рабочих, система эксплуатации инструмента и другие выбираются в процессе проектирования.

Выбранное сочетание перечисленных и иных параметров должно обеспечить выполнение заданных требований по качеству обрабатываемых изделий и производительности с наилучшими экономическими показателями.

Проектирование автоматической линии включает ряд основных этапов:

1) разработка технологического процесса, реализуемого на линии (методы, маршруты и режимы обработки);

2) выбор принципиальной схемы линии (количество позиций и участков, потоков обработки и т. д.);

3) выбор компоновочного решения, разработка планировки линии;

4) выбор и разработка системы управления, конструкции механизмов и устройств;

5) расчет и уточнение ожидаемых технико-экономических показателей линии по производительности, стоимости оборудования, экономической эффективности по сравнению с базовым вариантом; разработка системы обслуживания и организации эксплуатации.

Приведенная последовательность является в какой-то степени условной, так как отдельные задачи, решаемые на различных этапах, взаимосвязаны.

Важнейшей расчетной задачей при проектировании автоматической линии является выбор ее принципиальной схемы, т. е. такого структурно-компоновочного варианта, который обеспечивает наилучшие технико-экономические показатели системы. Поэтому из множества вариантов построения линии, отличающихся числом позиций, участков, потоков обработки, типом накопителей, должен быть выбран один, который обеспечивает заданную производительность и качество обработки при наименьших затратах на производство изделий.

Выбор оптимального структурно-компоновочного варианта автоматической линии следует непосредственно за разработкой технологического процесса, когда для каждой из обрабатываемых поверхностей уже выбраны методы и маршруты обработки, исходя из требуемого качества изделий.

Выбор оптимального варианта построения линии включает:

1) формирование цепочки несомкнутых операций обработки изделий, определения технологически минимального числа рабочих позиций линии $q_{\min}$;

2) оценка возможностей дальнейшей дифференциации технологического процесса, определение технологически максимального числа рабочих позиций линии $q_{\max}$, исходя из обеспечения заданного качества изделий;

3) выбор исходных режимов обработки v_0 , расчет длительности совмещенных и несомкнутых операций обработки t_{pi} , их суммарной величины Σt_{po} ;

4) выбор конструктивно-компоновочного варианта построения линии (типа транспортной маршрутизации, наличия или отсутствия спутников, типа накопителей), расчет ожидаемой длительности холостых ходов рабочего цикла t_x , оценка ожидаемой стоимости типовых конструктивных элементов K_i ;

5) укрупненный расчет ожидаемых показателей надежности инструментальной оснастки и типовых конструктивных элементов, т. е. ожидаемых внецикловых потерь по инструменту ΣC_i и оборудованию для одной позиции t_e , а также потерь на переналадку $t_{\text{пер}}$, организационных потерь $t_{\text{орг}}$ и т. д.;

6) расчет ожидаемой производительности Q_i ; генеральной совокупности технически возможных вариантов построения линии, отличающихся числом позиций $q (q_{\min} \ll q \leq q_{\max})$, участков-секций n_y ($n_y = 1, 2, 3, \dots$), параллельных потоков обработки $p (p = 1, 2, 3, \dots)$; при выбранных методах обработки, исходных режимах v_0 , количестве станков, обслуживаемых одним наладчиком Z , вместимости накопителей E и т. д.;

7) выбор из полученной общей совокупности нескольких конкурирующих вариантов построения линии, которые удовлетворяют требуемому диапазону производительности;

8) оптимизация технико-экономических показателей отобранных конкурирующих вариантов путем варьирования (в допустимых пределах) величиной режимов обработки на лимитирующих операциях v_i , вместимостью накопителей E , количеством наладчиков; таким образом, для каждого структурного варианта с фиксированными значениями q , n_y и p должна быть найдена экономически наиболее выгодная его реализация при сохранении условия $Q_i > Q_{\min}$;

9) оценка возможности добавления в число конкурирующих дополнительных структурных вариантов путем их оптимизации по параметрам v_i , E , Z и другим, если при этом ожидаемая производительность окажется в требуемом диапазоне $Q_{\min} \leq Q_i \leq Q_{\max}$;

10) расчет ожидаемых экономических показателей C_i отобранных конкурирующих вариантов, удовлетворяющих требованиям качества и производительности; выбор по принятому критерию экономической эффективности оптимального структурно-компоновочного варианта с наилучшим сочетанием характеристик q , n_y , p , v_i , E , Z и др.;

11) уточненный расчет ожидаемых технико-экономических показателей выбранного варианта проектируемой линии: производительности, надежности в работе, оценка экономической эффективности по сравнению с действующим (базовым) вариантом; при этом выбор оптимального варианта проектируемой линии означает и оптимизацию производительности в допустимом диапазоне $Q_{\min} \leq Q_{\text{опт}} \leq Q_{\max}$.

Таким образом, методология выбора оптимального варианта проектируемой линии основана на том, что сначала формируется генеральная совокупность технически возможных вариантов по критерию качества изделий. Затем по критерию заданной производительности отбирается ограниченное число вариантов, из которых и выбирается наиболее выгодный по экономическим критериям.

Требования качества обрабатываемых изделий, приведенные в технических условиях на проектирование линии, обеспечиваются в первую очередь путем выбора методов и маршрутов обработки, технологических баз; поэтому создание автоматической линии и начинается с разработки технологического процесса.

Следовательно, до начала конструктивной проработки линии уже известно суммарное время технологического воздействия на обрабатываемое изделие $t_{\text{п.о}}$ (с учетом совмещения операций) и технологически минимальное число рабочих позиций $q_{\min}$, определяемое величиной цепочки несовмещенных операций.

Величина $q_{\min}$ определяет минимальную степень дифференциации

общей длительности обработки $t_{p.o}$ на отдельные части, выполняемые в различных позициях (см. гл. III).

Если длительность обработки можно дифференцировать на равные части ($t_{pi} = \text{const}$), то длительность рабочего цикла линии

$$T = t_{p.o}/q_{\min} + t_x. \quad (\text{IX-16})$$

Если длительность отдельных основных операций неодинакова ($t_{pi} \neq \text{const}$), то

$$T = t_{p \max} + t_x, \quad (\text{IX-16a})$$

где $t_{p \max}$ — максимальная по длительности основная (несовмещенная) операция.

Формирование цепочки несомещенных операций и расчет длительности каждой из них завершает проработку технологического процесса и позволяет перейти к решению следующей задачи — выбору принципиальной схемы линии, определению числа позиций q , потоков обработки p и участков n_y .

Простейшим структурным вариантом автоматической линии, реализующим заданный технологический процесс, является однопоточная ($p = 1$) одноучастковая ($n_y = 1$) линия с числом позиций, равным технологически минимальному ($q = q_{\min}$).

Ожидаемая производительность автоматической линии согласно общей формуле

$$Q = 1/(T + \sum t_n), \quad (\text{IX-17})$$

где $T = t_p + t_x$ — ожидаемая длительность рабочего цикла, определяемая в соответствии с выбранным технологическим процессом t_p и быстродействием механизмов холостых ходов и управления t_x при их предварительной проработке; $\sum t_n$ — ожидаемая (прогнозируемая) величина внецикловых потерь, которая на предпроектной стадии определяется путем укрупненных расчетов.

Так как на линии последовательного действия имеется один технологический комплекс инструментов, рассредоточенный по рабочим позициям, и q комплектов механизмов и устройств, суммарные внецикловые потери (см. гл. III)

$$\sum t_n = \sum C_i + q t_e, \quad (\text{IX-18})$$

где $\sum C_i$ — внецикловые потери по инструменту одного технологического комплекта; t_e — внецикловые потери по оборудованию одного комплекта механизмов и устройств.

Подставляя значения T и $\sum t_n$ в общую формулу (IX-17), получаем ожидаемую производительность автоматической линии при простейшем структурном варианте

$$Q_1 = \frac{1}{t_{p.o}/q_{\min} + t_x + \sum C_i + q_{\min} t_e}. \quad (\text{IX-19})$$

Если эта производительность выше или равна требуемой согласно техническому заданию ($Q_{\text{т.р}} \leq Q_1$), то оптимальным вариантом

проектируемой линии является простейший ($q = q_{\min}$; $n_y = 1$; $p = 1$) (рис. IX-18, а) как наиболее дешевый и конструктивно простой.

Если $Q_{\text{тр}} > Q_1$, для обеспечения требуемой производительности необходимо выбирать более сложные схемы линии, при этом задача выбора становится многовариантной.

Увеличение производительности линии ($Q > Q_1$) можно достигнуть следующим путем:

1) интенсификацией режимов обработки на лимитирующих операциях ($v > v_0$); при этом, однако, значительно снижается стоимость инструмента, снижается точность обработки и т. д., поэтому данный метод имеет ограниченные возможности ($v < v_{\max}$);

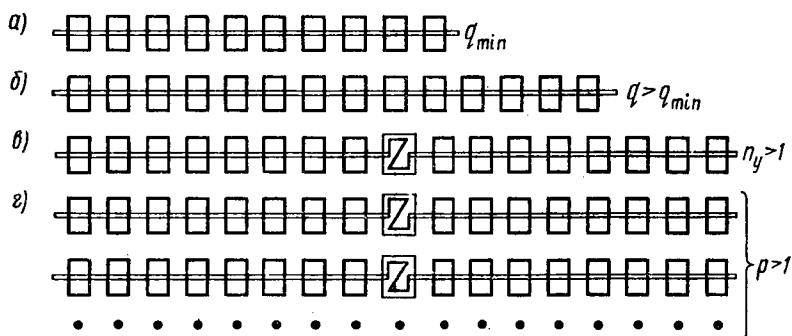


Рис. IX-18. Варианты структурного построения автоматической линии

2) вынесением некоторых, наиболее продолжительных операций за пределы линии, с выполнением их на отдельных станках; это практикуется наиболее часто для предварительных операций, а также финишных;

3) дроблением наиболее длительных операций на части путем деления длины обработки на две-три и более частей, тем самым увеличивается степень дифференциации технологического процесса и число рабочих позиций линии сверх технологически минимального количества ($q > q_{\min}$, рис. IX-18, б); однако возможности такой дифференциации составных операций ограничены (см. гл. III), поэтому для каждого конкретного технологического процесса существуют не только минимальное, но и максимальное число рабочих позиций ($q_{\min} \leq q \leq q_{\max}$);

4) деление линии на участки-секции с установкой межоперационных накопителей ($1 \leq n_y \leq q$) (рис. IX-18, в) для уменьшения общих внецикловых потерь $\Sigma t_{\text{п}}$ по сравнению с линией сблокированного исполнения (см. § 1—2);

5) применением метода многопоточной обработки, когда за один рабочий цикл выдается не одно, а p обработанных изделий ($p > 1$); в простейших случаях это достигается одновременной обработкой в одном спутнике p изделий с дублированием инструментов, в остальных случаях — путем дублирования станочного оборудования, проек-

тирования p независимых (рис. IX-18, z) или связанных потоков обработки.

Так как все изложенные выше структурные и технологические параметры могут варьироваться в довольно широких пределах ($v_0 \leq v \leq v_{\max}$, $q_{\min} \leq q \leq q_{\max}$, $1 \leq n_y \leq q$, $p = 1, 2, 3$), то заданным требованиям производительности ($Q_{\text{тр}}$) удовлетворяют не один, а несколько вариантов построения автоматической линии, отличающихся числом позиций, участков, параллельных потоков, режимами обработки и т. д.

Таким образом, первый этап выбора оптимального структурно-компоновочного варианта проектируемой линии состоит в отборе из множества технически возможных вариантов некоторого числа вариантов, которые удовлетворяют требованиям производительности, изложенным в техническом задании.

На рис. IX-19 приведены графики зависимости производительности автоматических линий от числа участков n_y и параллельных потоков обработки p , а также реального диапазона изменения числа позиций обработки ($q_{\min} < q < q_{\max}$), построенные по формуле

$$Q_{a.l} = \frac{P}{t_{p.o}/q + t_x + (\sum C_i + qt_e/n_y)w}, \quad (\text{IX-20})$$

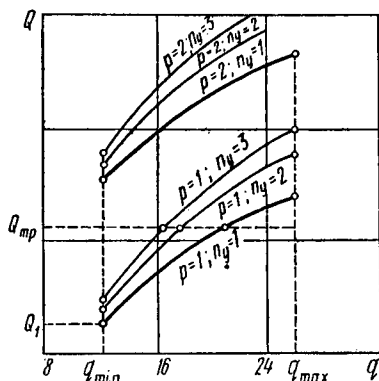


Рис. IX-19. Графики зависимости производительности автоматических линий от чисел позиций q , участков n_y и параллельных потоков обработки p

где $t_{p.o}$ — общая длительность цепочки несовмещенных операций; t_x — холостые ходы цикла линии; w — коэффициент возрастания внецикловых потерь из-за неполной их компенсации накопителями.

Как видно, более высокую производительность, чем у простейшего варианта ($q = q_{\min}$; $n_y = 1$; $p = 1$), можно получить и за счет увеличения числа позиций однопоточной линии с жесткой связью (кривая $n_y = 1$, $p = 1$), так и за счет деления линии (кривые $n_y = 2$; 3), а также увеличения числа потоков (кривые $p = 2$). В результате, даже если требуемая производительность $Q_{\text{тр}}$ задана как строго определенная величина, существует несколько возможных вариантов, отличающихся числом позиций и участков в линии (см. рис. IX-18). Если требуемая производительность задана в некотором возможном диапазоне $Q_{\min} \leq Q_{\text{тр}} \leq Q_{\max}$, число возможных вариантов построения линии увеличивается.

Вторым этапом является выбор из числа возможных вариантов, удовлетворяющих требуемой производительности, одного оптимального по экономическим критериям (сроки окупаемости, эффективность капиталовложений, приведенные затраты, см. гл. II). Так как на данном этапе количество конкурирующих вариантов построения линий значительно сужено, выбор оптимального варианта может про-

изводиться не с помощью функциональных зависимостей, а непосредственным подсчетом ожидаемых капиталовложений K_i и эксплуатационных затрат C_i (или I_i) для всех вариантов, с последующим их сравнением с помощью выбранного критерия экономической эффективности (см. гл. II).

Если требуемая производительность при этом задана в диапазоне, возникает и решается дополнительная задача оптимизации производительности проектируемой линии в допустимых пределах ($Q_{\min} < Q_{\text{тр}} < Q_{\max}$). Разумеется, в зависимости от конкретных условий в число конкурентных вариантов могут быть внесены и такие, которые имеют более высокую ожидаемую производительность, чем $Q_{\max}$. Так, для некоторых изделий, обрабатываемых на приспособлениях-



Рис. IX-20. Типовая обрабатываемая деталь — ступенчатый вал:

1—6 — номера обрабатываемых шеек

спутниках, одним из самых дешевых способов увеличения производительности является увеличение числа деталей, обрабатываемых одновременно на одном спутнике. Здесь сблокированная линия с минимальным числом позиций $q_{\min}$, где на каждом спутнике обрабатываются две детали, имеет почти вдвое более высокую производительность, чем Q_1 . Если $Q_{\text{тр}} \gg Q_1$, увеличение стоимо-

сти спутников менее значительно, чем дополнительные затраты на встроенные накопители, усложнение транспортной системы, дополнительные станки и т. д.

Рассмотрим для примера расчет и выбор оптимального варианта построения автоматической линии обработки ступенчатого вала (рис. IX-20). Типовой технологический маршрут обработки исходя из обеспечения требуемой точности составляют следующие процессы: 1 — фрезерование торцов; 2 — зацентровка торцов; 3 — черновая токарная обработка всех шеек; 4 — чистовая токарная обработка тех же шеек; 5 — прорезка канавок; 6 — снятие фасок.

Время выполнения всех операций с дифференциацией по элементам при выбранных режимах обработки приведено в табл. IX-1. Требуемая производительность линии $Q_{\text{тр}} = 420$ шт./см. (с увеличением до 15%).

Таблица IX-1

Операции	t_{pi}	Операции	t_{pi}
Фрезерование торцов . . .	0,30	Чистовая токарная обработка:	
Зацентровка торцов . . .	0,10	а) шейки № 1 . . .	0,25
Черновая токарная обработка:		б) шейки № 2 . . .	0,15
а) шейки № 1	0,15	в) шейки № 3 . . .	0,35
б) шейки № 2	0,10	г) шейки № 4 . . .	0,45
в) шейки № 3	0,30	д) шейки № 5 . . .	0,30
г) шейки № 4	0,35	е) шейки № 6 . . .	0,20
д) шейки № 5	0,20	Прорезка канавок . . .	0,30
е) шейки № 6	0,15	Снятие фасок	0,15

По условиям обработки (сохранение точностной долговечности станков) выполнение черновой и чистовой обработок на одном станке не рекомендуется. И, наоборот, известные конструкции типового станочного оборудования позволяют выполнять в одной позиции полную обработку обоих торцов (последовательно фрезерование и зацентровку). Аналогично могут быть выполнены в одной позиции все операции прорезки канавок и снятия всех фасок комплектом прорезных и фасочных резцов с поперечного суппорта. Токарную обработку предполагается выполнять на токарных гидрокопировальных полуавтоматах, пригодных для встраивания в линию. Максимальная длительность недифференцируемой операции — чистовой обточки шейки $t_{p1} = 0,35$ мин.

В соответствии с выбранными методами и маршрутом обработки минимальное число позиций линии $q_{\min} = 4$. При этом лимитирующей операцией является чистовая обточка всех шеек, длительность которой составляет $t_{p\max} = 0,25 + 0,15 + 0,35 + 0,45 + 0,30 + + 0,20 = 1,70$ мин.

Дифференцируя общий объем обработки вала на число позиций (станков) больше четырех, получаем сокращение длительности рабочих ходов цикла. В качестве примера на рис. IX-21, а приведена технологическая схема обработки по позициям при шестипозиционном ($q = 6$) варианте линии — для каждой из позиций I—VI показаны обрабатываемые поверхности. Так, на позиции I производится фрезерование и зацентровка торцов, на позиции II — черновая токарная обработка шеек № 4, 5, 6 и т. д. На рис. IX-21, б показана технологическая схема обработки при десятипозиционном ($q = 10$) варианте линии (позиции I—X). Как видно, на позиции I также производится фрезерование и зацентровка (эта обработка не лимитирует цикл, $t_{p1} + t_{p2} = 0,40$ мин), а на позиции II производится только черновая обточка шеек № 5 и 6, а шейка № 4 обрабатывается на позиции III. Максимальное число позиций определяется невозможностью дробления длины обработки шейки № 3 (см. рис. IX-20) при чистовой обточке $q_{\max} = 13$. Таким образом, для обработки вала, приведенного на рис. IX-20, даже при простейшем структурном построении однопоточной обработки ($p_y = 1$) и жесткой межагрегатной связи ($n_y = 1$) автоматическую линию можно построить по 10 структурным вариантам, с числом позиций $q = 4, 5, 6, 7, 8$ и т. д. Чем больше число позиций (степень дифференциации технологического процесса), тем меньше время рабочих ходов линии — при $q = 4$ $t_p = 1,70$ мин; при $q = 13$ $t_{p\max} = 0,35$ мин (рис. IX-21, в).

Как правило, каждый структурный вариант линии (с фиксированным числом станков и участков) можно реализовать по нескольким компоновочным схемам (см. § 3). Для линии обработки ступенчатых валов такие варианты отличаются взаимным расположением станков и трассы транспортирования изделий, траекторией перемещения изделий, типом транспортных механизмов и др.

На рис. IX-22 приведены компоновочные варианты однопоточных автоматических линий для обработки ступенчатых валов. Линия может быть построена с боковым продольным транспортированием изде-

лий и расположением станков вдоль основного транспортера (рис. IX-22, а); с боковым продольным транспортированием изделий вдоль транспортера и поперечным расположением станков (рис. IX-22, б);

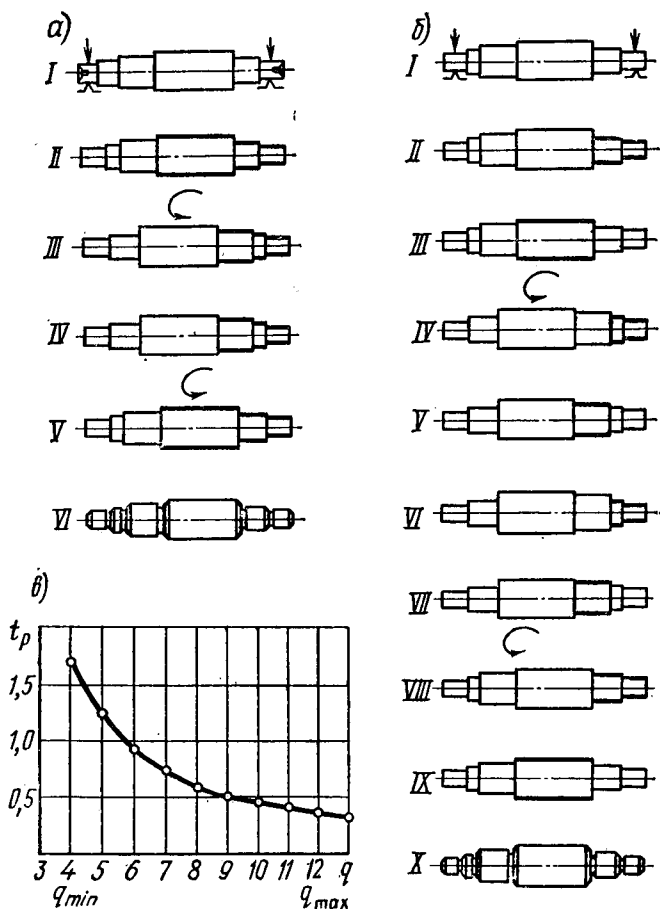


Рис. IX-21. Варианты построения технологического процесса обработки ступенчатого вала:

а — распределение технологического процесса по позициям при дифференциации на шесть частей ($q=6$); б — распределение технологического процесса по позициям при дифференциации его на десять частей ($q=10$); ● — зависимость времени рабочих ходов цикла от степени дифференциации технологического процесса

с боковым транспортером, поперечным транспортированием изделий и продольным расположением станков (рис. IX-22, в); с боковым расположением транспортера и поперечным расположением изделий и станков (рис. IX-22, г); с верхним расположением транспортера и поперечным расположением станков (рис. IX-22, д); с верхним транспортированием изделий вдоль транспортера и продольным располо-

жением станков (рис. IX-22, е); со сквозным транспортированием изделий через рабочие зоны станков (рис. IX-22, ж).

Каждый из этих вариантов при одинаковом количестве станков обладает различным сочетанием характеристик стоимости и занимаемой площади, длительности холостых ходов t_x и надежности в работе t_e . Таким образом, с учетом рис. IX-22 для обработки вала (рис. IX-20) автоматическая линия с жесткой связью может быть построена по $10 \times 7 = 70$ структурно-компоновочным вариантам. Их число значительно возрастает при структурном условии линии — делении ее на участки с установкой межоперационных накопителей, применением параллельных потоков обработки с целью обеспечения более высокой производительности.

Требуемая производительность линии $Q_{тр} = 420$ шт./см. с возможным завышением $+15\%$, т. е. $Q_{min} = 420$ шт./см., $Q_{max} = 480$ шт./см. Ожидаемые внецикловые потери одного комплекта инструмента и одного комплекта механизмов, рассчитанные по методике, приведенной в гл. IV, принимаем $\Sigma C_i = 0,12$ мин/шт., $t_e = 0,02$ мин/шт.

Так как общий технологический объем обработки согласно рис. IX-21 и табл. IX-1 невозможно дифференцировать на одинаковые части, ожидаемую производительность при различных вариантах построения линии рассчитываем по формуле

$$Q_{a.l} = \frac{p}{t_{p\max} + t_x + (\Sigma C_i + qtc/n_y)w}, \quad (IX-20a)$$

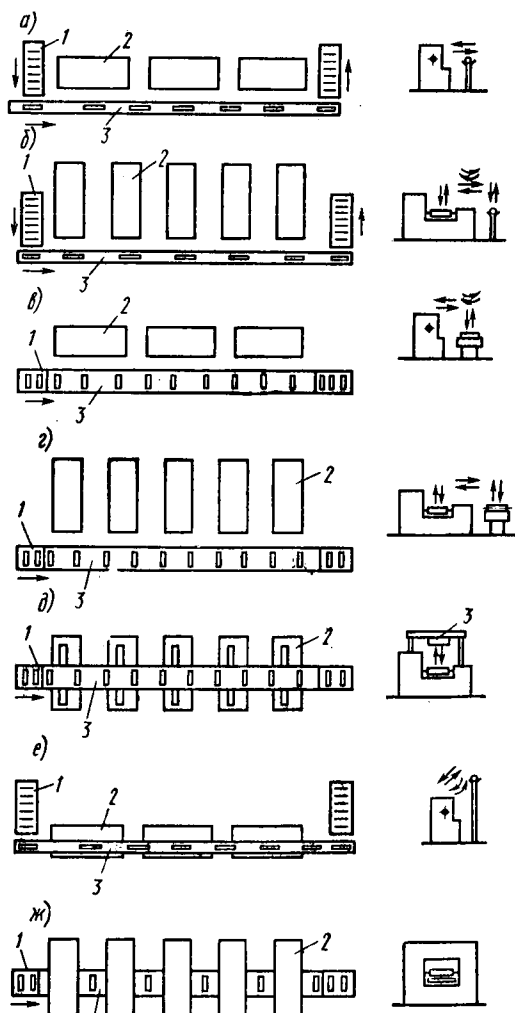


Рис. IX-22. Компоновочные варианты однопоточных автоматических линий для обработки ступенчатых валов:

1 — накопители заделов; 2 — станки; 3 — транспортные устройства

где $t_{p\max}$ — время наиболее длительной операции при данном варианте дифференциации и концентрации операций, т. е. при данном числе позиций q ; t_x — время холостых ходов рабочего цикла: межстаночного транспортирования, зажима и разжима изделий, подвода и отвода суппортов (принимаем $t_x = 0,25$ мин); n_y — число участков секций, на которое делится линия (принимаем вариант деления линии по методу равных потерь; $n_y = 1, 2, 3$); ω — коэффициент возрастания внецикловых потерь из-за неполной компенсации их накопителями; принимаем при $n_y = 2$ $\omega = 1,1$; при $n_y = 3$ $\omega = 1,15$; при $n_y = 4$ $\omega = 1,18$; p — число параллельных потоков обработки; так как конструкция гидрокопировальных станков не предусматривает возможности одновременной обработки двух или более изделий, p означает количество независимых и одинаковых автоматических линий, с пропорциональным увеличением в p раз стоимости, эксплуатационных затрат, потенциальной производительности; $p = 1, 2, 3$ и т. д.

Согласно изложенным выше соображениям, минимально возможное число рабочих позиций линии $q_{\min} = 4$. При этом общий объем обработки по отдельным позициям распределяется в соответствии с табл. IX-1 следующим образом:

фрезерование и центровка торцов

$$t_p = 0,30 + 0,10 = 0,4 \text{ мин};$$

черновая токарная обработка всех шеек вала с переворотом вала для обеспечения работы копировального суппорта

$$t_p = 0,15 + 0,10 + 0,30 + 0,35 + 0,20 + 0,15 = 1,25 \text{ мин};$$

чистовая токарная обработка всех шеек вала (также с его переворотом)

$$t_p = 0,25 + 0,15 + 0,35 + 0,45 + 0,30 + 0,20 = 1,70 \text{ мин};$$

прорезка канавок и снятие фасок $t_p = 0,30$ мин.

Таким образом, при простейшем варианте построения линии ($q_{\min} = 4$; $n_y = 1$; $p = 1$) $t_{p\max} = 1,70$ мин и ожидаемая производительность

$$Q_1 = \frac{1}{1,70 + 0,25 + 0,12 + 0,02 \cdot 4} = 0,47 \text{ шт./мин} = 225 \text{ шт./см.}$$

Так как производительность при таком варианте значительно меньше требуемой ($Q_1 \ll Q_{\text{тр}}$); последовательно выполняем расчет ожидаемой производительности при различной степени дифференциации технологического процесса, т. е. при увеличении числа позиций $q > q_{\min}$ при жесткой связи и с делением линии. Метод расчета заключается в том, что длительность обработки на лимитирующей операции дробится на две неравные части, которые распределяются уже на две позиции.

Следовательно, очередной вариант имеет уже $q + 1$ позиций, время рабочего хода есть время следующей по длительности операции;

соответственно изменяется и величина внецикловых потерь $t_e(q + 1)$.

Так, следующий по степени дифференциации вариант $q = q_{\min} + 1 = 4 + 1 = 5$ позиций получается путем деления чистовой токарной обработки на две позиции. Распределение технологического процесса по позициям:

позиция I — фрезерование и центровка, $t_p = 0,40$ мин;

позиция II — черновая обработка, $t_p = 1,25$ мин;

позиция III — чистовая обработка шеек 4, 5, 6, $t_p = 0,95$ мин;

позиция IV — чистовая обработка шеек 1, 2, 3, $t_p = 0,75$ мин;

позиция V — прорезка канавок и снятие фасок, $t_p = 0,30$ мин.

Лимитирующей операцией цикла является черновая обработка на позиции II, $t_{p\max} = 1,25$ мин. Производительность при варианте $q = 5$

$$Q_5 = \frac{1}{1,25 + 0,25 + 0,12 + 0,02 \cdot 5} = 0,58 \text{ шт./мин} = 290 \text{ шт./см.}$$

При $q = 6$ черновая обработка дифференцируется на две части. Распределение технологического процесса по позициям (см. рис. IX-21, б):

позиция I — фрезерование и центровка, $t_p = 0,4$ мин;

позиция II — черновая обработка шеек 1, 2, 3, $t_p = 0,55$ мин;

позиция III — черновая обработка шеек 4, 5, 6, $t_p = 0,70$ мин;

позиция IV — чистовая обработка шеек 4, 5, 6, $t_p = 0,95$ мин;

позиция V — чистовая обработка шеек 1, 2, 3, $t_p = 0,75$ мин;

позиция VI — прорезка канавок и снятие фасок, $t_p = 0,30$ мин.

Лимитирующая операция — чистовая обработка шеек 4, 5, 6; $t_{p\max} = 0,95$ мин; ожидаемая производительность

$$Q_6 = \frac{1}{0,95 + 0,25 + 0,12 + 0,02 \cdot 6} = 0,69 \text{ шт./мин} = 330 \text{ шт./см.}$$

При $q = 7$ чистовая обработка правой стороны вала (см. рис. IX-20) дробится на две части, лимитирующей операцией является чистовая обработка левой стороны вала, $t_{p\max} = 0,75$ мин.

Производительность

$$Q_7 = \frac{1}{0,75 + 0,25 + 0,12 + 0,14} = 0,79 \text{ шт./мин} = 380 \text{ шт./см.}$$

Результаты последовательных расчетов для $q = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$ сведены в табл. IX-2 и приведены на рис. IX-23.

При $q \leq 12$ процесс дифференциации идет путем разнесения по различным позициям элементарных операций (в частности, обработки разных шеек). При $q = 13$ необходимо разделить на две части длину чистовой обработки шейки 4, что допускается. После этого наиболее длительной операцией оказывается чистовая обработка шейки 4, $t_p = 0,35$ мин, что не допускается. Поэтому любые варианты дальнейшей дифференциации технологического процесса ($q > 13$) не приведут к повышению производительности, так как лимитирующая операция по-прежнему имеет $t_{p\max} = 0,35$ мин. Таким образом, техноло-

Число рабочих позиций q	$t_{p \max}$, мин	Q_q , шт./см.			
		$n_y = 1$	$n_y = 2$	$n_y = 3$	$n_y = 4$
4	1,70	225	232	—	240
5	1,25	290	—	—	—
6	0,95	330	360	380	—
7	0,75	370	—	—	—
8	0,70	390	435	453	475
9	0,55	430	—	520	—
10	0,50	445	510	—	—
11	0,45	460	—	—	590
12	0,40	475	535	610	510
13	0,35	490	—	—	—

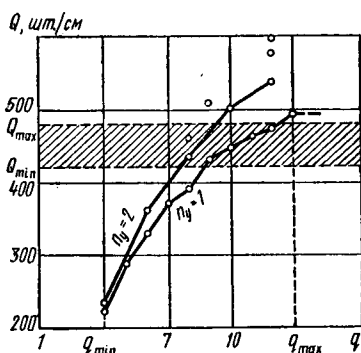
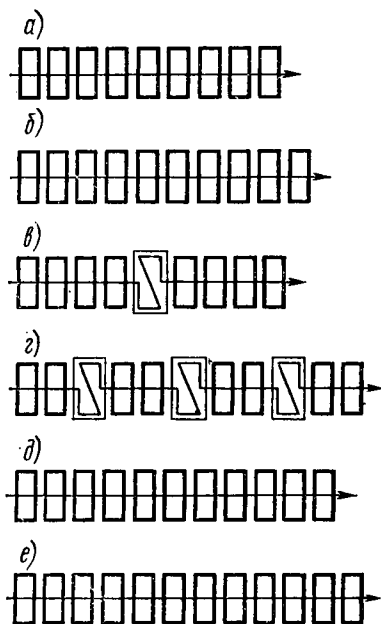


Рис. IX-23. Производительность автоматических линий обработки ступенчатого вала при различных структурных вариантах компоновки

Рис. IX-24. Конкурирующие структурные варианты построения автоматической линии обработки ступенчатого вала:

а) — $q=9$; $n_y=1$; б) — $q=10$; $n_y=1$;
 в) — $q=8$; $n_y=2$; г) — $q=8$; $n_y=4$;
 д) — $q=11$; $n_y=1$; е) — $q=12$; $n_y=1$



гически максимальное число позиций линии $q_{\max} = 13$; только при жесткой межагрегатной связи линия может быть построена по 10 вариантам ($4 \leq q \leq 13$). При делении линии на участки ($n_y = 2, 3, 4$) линия при том же числе позиций имеет более высокую производительность благодаря уменьшению суммарных внецикловых потерь. Результаты расчетов по формуле (IX-20а) также приведены в табл. IX-2 и на рис. IX-23 для вариантов, где общее число станков в линии делится на 2, 3 или на 4. Если даже не рассматривать деление

линии на число участков более четырех (ввиду малого прироста производительности), то в общем итоге однопоточную автоматическую линию для обработки вала при одних и тех же методах, маршруте и режимах обработки можно построить по 21 структурному варианту.

Если же учесть, что имеется семь компоновочных вариантов построения линии, независимо от числа позиций (см. рис. IX-22), то всего для обработки вала (рис. IX-20) возможно $21 \times 7 = 147$ структурно-компоновочных вариантов построения автоматической линии. Каждый из этих вариантов имеет неповторяющееся сочетание таких показателей, как длительность обработки t_p , рабочего цикла T , производительности Q (на рис. IX-23 отмечены кружочками), стоимости, количества обслуживающих рабочих, эксплуатационных затрат и т. д.

Сравнивая характеристики различных вариантов по производительности с требуемой величиной, можно видеть, что заданному диапазону $Q_{тр} = 420-480$ шт./мин соответствуют шесть возможных вариантов построения линии (на рис. IX-23 попадают в заштрихованную зону). Структурные схемы конкурирующих вариантов (в порядке возрастания потенциальной производительности) приведены на рис. IX-24. Выбор их числа, оптимального варианта производим путем сопоставления стоимостных характеристик, например, по критерию минимума приведенных затрат (см. гл. II).

$$C_n = K_i E_n + C_i,$$

где C_n — приведенные затраты для данного конкурирующего варианта; K_i — стоимость оборудования i -го варианта; C_i — годовые эксплуатационные затраты для данного варианта (себестоимость годового выпуска изделий); E_n — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

При сравнении все полученные значения приведенных затрат C_n должны быть скорректированы на одинаковый выпуск продукции (база — наиболее производительный вариант, $Q = 475$ шт./см.).

Исходные данные определяем по принятому компоновочному варианту — линии со сквозным транспортированием (см. рис. IX-22, ж) — путем укрупненных расчетов:

а) стоимость одного гидрокопировального станка, встраиваемого в линию, 8000 руб.;

б) стоимость одного фрезерно-центровального встраиваемого станка 14 000 руб.;

в) стоимость одного накопителя 3500 руб.; загрузочного устройства 2500 руб.;

г) стоимость транспортной системы в зависимости от числа секций (участков, на которые разделена линия) n_y и станков в линии q $2000 n_y + 500 q$;

д) амортизационные отчисления 12,2% от стоимости оборудования;

е) затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание 7% от стоимости оборудования;

ж) стоимость инструмента и электроэнергии 2,6 тыс. руб. в год (на программу 420 шт. в смену независимо от структурного варианта);

з) годовой фонд зарплаты обслуживающих рабочих при двухсменной работе: один оператор на линии (независимо от числа станков) с месячной зарплатой 130 руб.; один наладчик с месячной зарплатой 160 руб., норма обслуживания шесть станков;

и) нормативный коэффициент эффективности капиталовложений $E_n = 0,15$.

Согласно этим исходным данным для первого варианта ($q = 9$, $n_y = 1$, $Q = 430$ шт./см.) получаем:

стоимость линии

$$K_1 = 14\,000 + 88\,000 + 2000 + 500 \cdot 9 + 2500 = 87\,000 \text{ руб.};$$

годовые эксплуатационные затраты

$$C_1 = 87\,000 \cdot 0,122 + 87\,000 \cdot 0,07 + 2600 \cdot 1,02 + 8800 = 28\,050 \text{ руб.};$$

приведенные затраты

$$C'_n = K_1 E_n + C_1 = 87\,000 \cdot 0,15 + 28\,050 = 41\,050 \text{ руб.};$$

приведенные затраты, скорректированные на выпуск продукции,

$$C_{n_1} = C'_n \cdot \varphi = 41\,050 \cdot 1,11 = 45\,600 \text{ руб.}$$

Аналогично, рассчитывая приведенные затраты для остальных конкурирующих вариантов согласно рис. IX-23 и рис. IX-24, в итоге получаем:

$$q = 9; \quad n_y = 1; \quad Q = 430; \quad C_n = 45,6 \text{ тыс. руб.};$$

$$q = 8; \quad n_y = 2; \quad Q = 435; \quad C_n = 45,0 \text{ тыс. руб.};$$

$$q = 10; \quad n_y = 1; \quad Q = 445; \quad C_n = 48,6 \text{ тыс. руб.};$$

$$q = 11; \quad n_y = 1; \quad Q = 460; \quad C_n = 51,7 \text{ тыс. руб.};$$

$$q = 8; \quad n_y = 4; \quad Q = 470; \quad C_n = 45,3 \text{ тыс. руб.};$$

$$q = 12; \quad n_y = 1; \quad Q = 475; \quad C_n = 52,7 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, из большого количества возможных вариантов автоматическую линию целесообразно создавать со следующими параметрами (см. рис. IX-24, в): число рабочих позиций $q = 8$; время рабочих ходов $t_p = 0,70$ мин; время холостых ходов $t_x = 0,25$ мин; время рабочего цикла $T = 0,95$ мин; число участков-секций $n_y = 2$; цикловая производительность $Q_n = 505$ шт./см.; техническая производительность $Q = 435$ шт./см.; коэффициент технического использования $\eta_{\text{тех}} = 0,81$.

ОЦЕНКА И ВЫБОР ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ (АТК) С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ ЭВМ

§ 1. ЗАДАЧИ И ЭТАПЫ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ

Как рассмотрено выше (см. гл. I), на ступени комплексной автоматизации основными задачами при проектировании являются разработка механизмов и систем внутрицехового и межцехового транспортирования, автоматического складирования, управления производственными комплексами. Резкое усложнение функций управления с явным преобладанием организационных над технологическими обусловило то обстоятельство, что такие системы можно реализовать только на основе вычислительной техники. Поэтому комплексная автоматизация является не только высшей, но и новейшей во времени.

Опыт показывает, что попытки применения устройств и систем программного управления станков на электронной основе взамен ручного или простейшего механического управления были безуспешны до тех пор, пока не были произведены качественные конструктивные и компоновочные преобразования станков — объектов управления. При этом оказалось, что большая часть станочных узлов и механизмов, сложившихся в течение десятилетий в условиях совместной работы человека и машины, оказались непригодными для совместного функционирования с электронными системами управления: пара винт—гайка скольжения, зубчатые передачи привода, направляющие скольжения, асинхронные двигатели перемещений по координатам и т. д. Им на смену пришли механизмы и устройства того же функционального назначения, но на принципиально иной основе: (пара винт—шариковая гайка, безлюфтовые приводные редукторы, направляющие качения, двигатели постоянного тока, шаговые двигатели с гидроусилителями и т. д.).

Повышение степени автоматизации, переход от станков — к полуавтоматам, от полуавтоматов — к автоматическим линиям, автоматизированным технологическим комплексам связан с неизбежным конструктивным усложнением машин, появлением большого количества механизмов рабочих и холостых ходов, автоматически выполняющих те элементы производственного процесса, которые выполнялись ранее вручную или с помощью средств механизации.

Комплексная автоматизация есть процесс резкого увеличения количества функций, выполняемых непосредственно машинами и их механизмами, процесс конструктивного и структурного усложнения оборудования, совершенствования технологии.

К числу задач, которые необходимо решить для широкого и эффективного внедрения комплексной автоматизаций, автоматизированных технологических комплексов с управлением от ЭВМ, является разработка методов их технико-экономического обоснования.

В настоящее время накопленный опыт проектирования эксплуатации АТК с АСУ ТП автономного и интегрированного типа позволяет сделать вывод о перспективности данного направления автоматизации с точки зрения решения проблем научно-технического прогресса и прежде всего роста производительности общественного труда.

Известно, что любая автоматизированная система управления, какой бы сложной и совершенной она ни была, сама по себе промышленную продукцию производить не может; это является функцией технологического оборудования с той или иной степенью автоматизации. Содержанием любого производства являются технологические процессы обработки, контроля, сборки, реализованные в конструкциях и компоновках современных машин. Именно в технологических процессах, конструкциях и компоновках машин заложены потенциальные возможности выпуска продукции, его качества, производительности общественного труда и т. д. Любые автоматизированные системы управления отличаются друг от друга лишь степенью использования этих потенциальных возможностей, заложенных в технологии и конструкциях. Следовательно, нужно рассматривать технико-экономическое обоснование создания автоматизированных технологических комплексов, оснащенных АСУ ТП, в сравнении с технологическими комплексами того же назначения, для выпуска той же продукции, необходимой народному хозяйству.

Поэтому ожидаемый эффект внедрения АСУ ТП должен трактоваться как ожидаемое улучшение показателей производительности и эффективности АТК, оснащенных АСУ ТП, по сравнению с базовым технологическим оборудованием, находящимся на высоком техническом уровне, но без АСУ ТП.

Задача технико-экономического обоснования создания автоматизированных технологических комплексов на базе АСУ ТП — это задача оценки и выбора на проектной стадии таких вариантов их построения, которые обеспечивают максимальный экономический эффект в данных конкретных условиях производства.

Создание автоматизированных систем управления технологическими процессами во многом отличается по целевой функции от создания автоматических систем управления производством (АСУП). Автоматические системы управления производством реализуют информационно-вычислительные функции, работая в режиме «советчика» руководства, обеспечивая более высокий уровень организа-

ционно-экономических методов руководства. Экономический эффект от их внедрения реализуется обычно в масштабе всего предприятия или крупных его подразделений (цехов, отделов) многими путями, в том числе такими, как общее повышение уровня руководства, уменьшение текучести кадров и другими, что количественно не всегда возможно оценить.

Особенностью автоматических систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) при любой степени их интегрирования с вышестоящими уровнями является то, что весь экономический эффект реализуется благодаря улучшению технико-экономических показателей работы автоматизируемого технологического оборудования. Такими показателями являются: 1) повышение производительности (количества выпускаемой продукции); 2) повышение качества изделий (снижение доли брака); 3) сокращение количества обслуживающих рабочих и фонда их зарплаты.

Среди них важнейшим является повышение производительности АТК по сравнению с базовым вариантом технологического оборудования за счет интенсификации режимов обработки и сокращения всех простоев по причинам технического и организационного характера. Поэтому в соответствии с общей методологией технико-экономических расчетов на проектной стадии (см. гл. II, § 5) критерием оценки любого технически реализуемого варианта построения автоматизированного технологического комплекса с АСУ ТП является сопоставление: 1) ожидаемого технического эффекта внедрения по производительности технологического оборудования с учетом повышения качества изделий и сокращения количества обслуживающих рабочих; 2) требуемой величины повышения производительности, исходя из гарантированной окупаемости затрат на автоматизацию; 3) перспективного увеличения производительной программы выпуска данных изделий в конкретных условиях намечаемого внедрения АТК.

Создание автоматизированных технологических комплексов является сложным и длительным по времени процессом, включающим большое количество различных этапов, на которых последовательно формируются характеристики системы, прорабатываются вопросы синтеза системы в целом и ее элементов (табл. X-1).

Важнейшими с точки зрения выбора варианта построения АТК являются периоды предпроектных и проектных работ, в которые входят следующие стадии:

1) предварительная стадия — производится обследование технологического оборудования, намечаемого к встраиванию в АТК; предварительное определение функций АСУ ТП и выбор соответствующих технических средств; разработка плана-графика создания и ввода в действие АСУ ТП и т. д.;

2) исследовательская стадия — производится исследование характеристик базового технологического оборудования в условиях активного и пассивного эксперимента; уточнение функций АСУ ТП и разработка математических описаний для них; подготовка технических заданий на проектирование по итогам исследований и т. д.;

Таблица X-1

Этапы	Стадии	Периоды
Обследование объектов управления Предварительное определение функций АСУ ТП Предварительный выбор технических средств АСУ Технико-экономические обоснования выбора вариантов построения АТК Разработка плана-графика создания и ввода в действие АТК	I. Предварительная	А. Предпроектные работы
Постановка задач экспериментальных исследований Подготовка технической базы и программ экспериментальных исследований Экспериментальные исследования Уточнение функций АСУ ТП и корректировка выбранного варианта построения АТК Разработка технических заданий на проектирование оборудования и технических средств АСУ, не изготавливаемых промышленностью Подготовка заданий на разработку АСУ ТП	II. Исследовательская	
Разработка структурной схемы АСУ ТП Разработка специальных технических средств АСУ, локальной автоматики, механизмов и устройств Разработка алгоритмов реализации функций АСУ ТП и моделирования АТК	III. Разработка	Б. Проектные работы
Проектирование узлов Проектирование общих видов Проектирование компоновок	IV. Техническое проектирование	
Разработка рабочих чертежей Разработка спецификаций	V. Разработка рабочих документов	
Изготовление Поставка Монтаж Наладка	VI. Изготовление	В. Реализация
Испытания на холостом ходу Опытно-промышленная эксплуатация Приемно-сдаточные испытания	VII. Ввод в действие	

3) стадия разработки (технического предложения) — разрабатываются алгоритмы реализации функций АСУ ТП; перечень технических средств АСУ и локальной автоматики; задания на модернизацию технологического оборудования, разработку транспортирующих и грузочно-разгрузочных механизмов и т. д.;

4) стадия технического и рабочего проектирования — разрабатываются конструкции и общие виды всех элементов и подсистем АТК, монтажные схемы, спецификации и другая рабочая документация, необходимая для изготовления.

Далее следует период реализации принятых решений со стадиями;

5) стадия изготовления и монтажно-наладочные работы — производится изготовление всех оригинальных механизмов и узлов технологического и вспомогательного оборудования, комплекта технических средств АСУ ТП; поузловой и общий монтаж, наладка и испытания всех узлов и системы в целом;

6) стадия пуска и освоения — производятся испытания системы под нагрузкой (приемно-сдаточные испытания), опытно-промышленная эксплуатация, т. е. начальная реализация возможностей, заложенных в технологическом оборудовании и автоматизированных системах управления, составляющих АТК.

На каждой указанной стадии уточняются все факторы, определяющие эффективность внедрения АТК: производительность и надежность оборудования, стоимость системы и ее элементов, необходимое количество обслуживающих рабочих и т. д. Именно для этого производят испытания встраиваемого технологического оборудования на стадиях предварительной проработки, научно-исследовательских работ (НИР), опытно-конструкторских разработок (ОКР), пуска и освоения. Только такой подход позволяет обеспечить правильный выбор варианта построения АТК с АСУ ТП и его корректировку в процессе создания, высокую экономическую эффективность автоматизации.

§ 2. ВАРИАНТНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ

Как указано выше (см. гл. V, § 7), основным вариационным признаком автоматизированных систем управления технологическими процессами, а следовательно, и технологических комплексов на их основе является количество и номенклатура выполняемых функций управления. Этот признак определяет такие показатели систем, как производительность и качество продукции, стоимость, количество обслуживающих рабочих.

Приведенный в гл. V перечень управляющих и информационно-вычислительных функций АСУ ТП является наиболее общим, охватывающим все отрасли. По своей структуре он наиболее полно отвечает специфике АСУ непрерывными технологическими процессами (химическая промышленность, металлургия), где важнейшей задачей является автоматическое регулирование процесса, стабилизация и поддержание на некотором уровне его характеристик с учетом как систематических, так и случайных воздействий.

Для технологических процессов машиностроения, в первую очередь процессов механической обработки, контроля, сборки, а такжековки и штамповки, литья, сварки и пайки и других, показателей дискретный характер. Для этих процессов основной задачей любой системы

управления является реализация по заданной программе отдельных дискретных действий исполнительных механизмов и устройств (рабочих и холостых ходов) с обеспечением их взаимодействия во времени, заданных режимов и величин перемещений и т. д.

Графически такие задачи управления при функционировании машин хорошо иллюстрируются циклограммами (см. рис. I-IV, X-4). Продолжительность различных элементов рабочего цикла определяется заданными режимами обработки, быстродействием и динамикой исполнительных механизмов и т. д.; структура циклограммы определяется целевой функцией машины, т. е. выпуском продукции заданного качества с минимальными затратами времени и средств. При этом во многих случаях технологические режимы задаются жестко, без всякого регулирования при своей реализации.

Поэтому для машиностроительного производства, например механической обработки и сборки, перечень функций АСУ ТП, рассмотренный выше, может быть уточнен и конкретизирован. Кроме того, отдельные функции целесообразно сгруппировать исходя из общности решаемых задач повышения производительности, их укрупнения и т. д. С другой стороны, учитывая различную степень автоматизации технологического и вспомогательного оборудования, рабочих и вспомогательных процессов и связанные с этим существенные различия в общей стоимости и производительности АТК, целесообразно функции управления различными классами оборудования рассматривать отдельно.

С учетом изложенного целесообразно рассматривать следующие функции интегрированных систем управления АТК в машиностроении:

- 1) управление последовательностью работы основного технологического оборудования, технологическими процессами и холостыми ходами;

- 2) оптимальное регулирование, оптимизация технологических операций обработки, в том числе самоподстройка;

- 3) управление работой транспортных систем для заготовок и готовых изделий, процессами их накопления, складирования и т. д.;

- 4) управление механизмами автоматической загрузки и выгрузки изделий (автооператорами, манипуляторами, промышленными роботами и т. д.);

- 5) управление процессами доставки инструмента;

- 6) функциональная диагностика работы машин, включая измерение параметров и состояния технологических процессов, оборудования и комплекса технических средств АСУ (КТС АСУ), сигнализации о состоянии, контроль отклонения параметров от заданных и т. д.;

- 7) статистическая диагностика работы машин, включая расчеты эксплуатационных показателей работы оборудования, регистрация изменений состояния технологического оборудования и т. д.;

- 8) оперативное планирование загрузки отдельных типов и единиц оборудования в условиях серийного производства с ее оптимизацией;

- 9) оперативный учет выпуска и качества продукции, в том числе

подготовка соответствующей информации для вышестоящих уровней управления;

10) автоматизация подготовки управляющих программ для технологического и вспомогательного оборудования;

11) хранение управляющих программ в долговременной и оперативной памяти ЭВМ;

12) автоматизация контроля и корректировки управляющих программ;

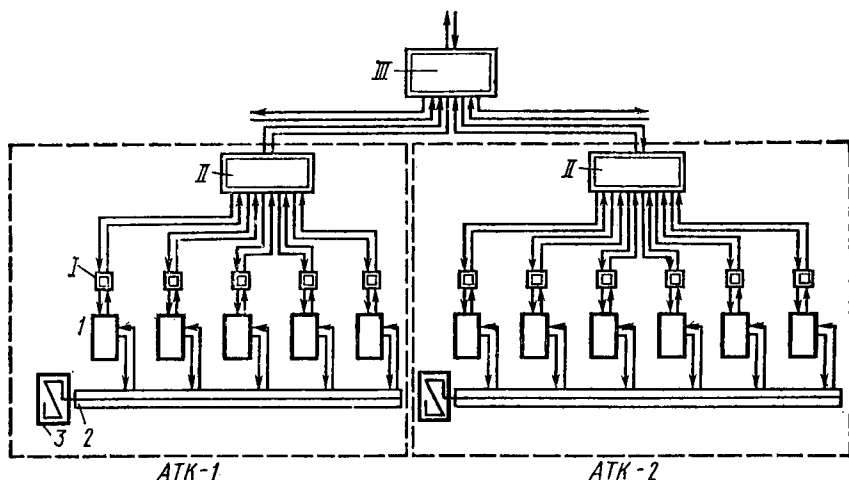


Рис. X-1. Структурная схема системы автоматизированных технологических комплексов с интегрированной системой управления:

I — мини-ЭВМ у станков; II — групповая ЭВМ участка; III — информационно-вычислительный центр; 1 — станки; 2 — транспортные устройства; 3 — накопители

13) оперативное управление ремонтно-эксплуатационной службой;

14) сбор, первичная переработка и хранение первичной технической и технологической информации;

15) расчет технико-экономических показателей работы АТК.

Эти функции могут быть реализованы на трех основных иерархических уровнях интегрированных систем управления (рис. X-1):
I — мини-ЭВМ непосредственно у рабочих машин (взамен индивидуальных пультов программного управления);

II — групповые ЭВМ, управляющие всем автоматизированным технологическим комплексом (в машиностроении — на уровне пролета, участка, цеха);

III — центральная ЭВМ в информационно-вычислительном центре (ИВЦ) предприятия.

Возможно интегрирование АСУ и на более высоком уровне — путем подсоединения к ИВЦ отраслевого или территориального типа, например, к государственной сети вычислительных центров (ГСВЦ).

Таким образом, варианты построения автоматизированных технологических комплексов, оснащенных АСУ интегрированного типа, отличаются количеством реализуемых функций АСУ, номенклатурой реализуемых функций АСУ, распределением отдельных функций между различными иерархическими уровнями системы управления. Эти вариационные признаки с учетом большого количества возможных функций систем управления предопределяют большое количество возможных, технически реализуемых вариантов построения автоматизированных технологических комплексов с АСУ ТП. Общее их количество можно определить как общее количество сочетаний из n элементов группами по m элементов:

$$C_n = C_n^1 + C_n^2 + C_n^3 + C_n^4 + \dots + C_n^{m-1} + C_n^m,$$

где C_n — общее число сочетаний элементов в системе из общего числа n элементов; $m = 1, 2, 3, \dots, n$ — число элементов в данном сочетании.

Согласно общей формуле теории сочетаний

$$C_n = \sum_{m=1}^{m=n} C_n^m = \sum_{m=1}^{m=n} \frac{n!}{m! (n-m)!}.$$

Для данного случая $n = 15$; $m = 1, 2, 3, \dots, 14, 15$; здесь n — число функций, которое может быть реализовано АСУ; m — число функций, которые реализуются в том или ином варианте построения АТК с АСУ ТП.

Следовательно,

$$C_{15} = C_{15}^1 + C_{15}^2 + \dots + C_{15}^{15} = \sum_{m=1}^{m=15} C_{15}^m.$$

Тогда общее число вариантов построения, в которых реализуется только одна (любая) функция управления или информационно-вычислительная

$$C_{15}^1 = \frac{15!}{1! (15-1)!} = 15.$$

Число вариантов построения, в которых реализованы две (любые) функции из пятнадцати,

$$C_{15}^2 = \frac{15!}{2! (15-2)!} = 105.$$

Продолжая расчеты, получаем:

$$C_{15}^3 = \frac{15!}{3! (15-3)!} = 455; \quad C_{15}^4 = \frac{15!}{4! (15-4)!} = 1365.$$

Приведем число вариантов построения АТК, в которых реализуются $m = 5, 6, \dots, 15$ функций:

$$C^5 = 3003; \quad C^6 = 5005; \quad C^7 = 6435; \quad C^8 = 6435; \quad C^9 = 5005; \\ C^{10} = 3003; \quad C^{11} = 1365; \quad C^{12} = 455; \quad C^{13} = 105; \quad C^{14} = 15; \quad C^{15} = 1.$$

Естественно, что если АСУ реализует полный перечень функций, она может быть реализована только по одному структурно-функциональному варианту (перестановки физического смысла не имеют).

Итого общее количество вариантов построения АСУ ТП, различающихся количеством и номенклатурой функций управления,

$$C_{15} = \sum_{m=1}^{m=15}; \quad C_{15}^m = 15 + 105 + 455 + 1365 + \dots + 1 = 32\,767.$$

На рис. X-2, а, б, в, г приведены некоторые структурные варианты построения автоматизированных технологических комплексов (АТК), отличающихся степенью автоматизации технологических и вспомогательных процессов. На рис. X-2, а приведена система технологических машин, где управляющие функции АСУ ограничиваются управлением последовательностью обработки (рабочих и холостых ходов) и оптимизацией технологического процесса. Операции загрузки и съема изделий, их транспортирования к технологическим машинам и обратно, снабжения инструментом и другие выполняются вручную.

По варианту (рис. X-2, б) в состав АТК входит автоматическая или автоматизированная система транспортирования и складирования изделий, управление которой также осуществляется от ЭВМ. Таким образом, этот вариант связан с дополнительными затратами на технологическое (а также вспомогательное) оборудование, и с усложнением АСУ ТП.

Вариант (рис. X-2, в) включает дополнительно автоматизацию загрузки и съема изделий, а следовательно, дополнительные функции АСУ ТП по их управлению.

Вариант (рис. X-2, г) включает все функции управления: управление рабочим циклом, оптимизацию технологического процесса, управление транспортной системой, механизмами загрузки-выгрузки, транспортной системой обеспечения инструментом.

Накопленный опыт по созданию автоматизированных технологических комплексов с управлением от ЭВМ в машиностроении и приборостроении показывает, что количество и номенклатура реализуемых функций управления от ЭВМ (включая функции собственно управления и информационно-вычислительные) в разных системах существенно отличаются.

Так, в автоматизированной системе управления процессом вакуумной обработки цветных кинескопов, внедренной на заводе «Хроматрон», реализованы следующие основные функции: 1) автоматическое регулирование процессов по входным данным (высокочастотное обезгаживание, активировка катода), при этом управление последовательностью обработки задано жестко путем распределения неподвижных технологических зон при непрерывном ходе конвейера; 2) функ-

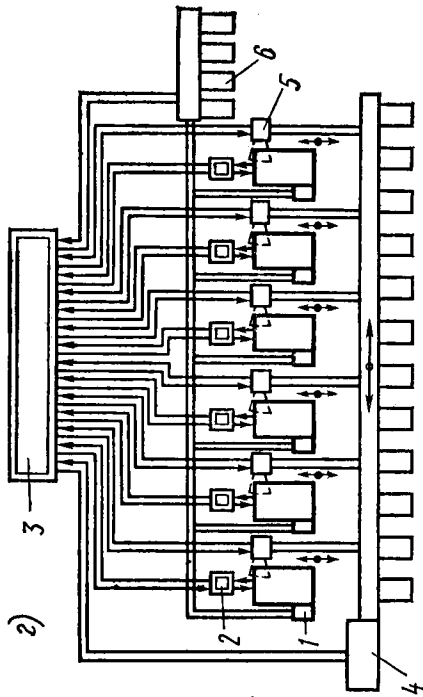
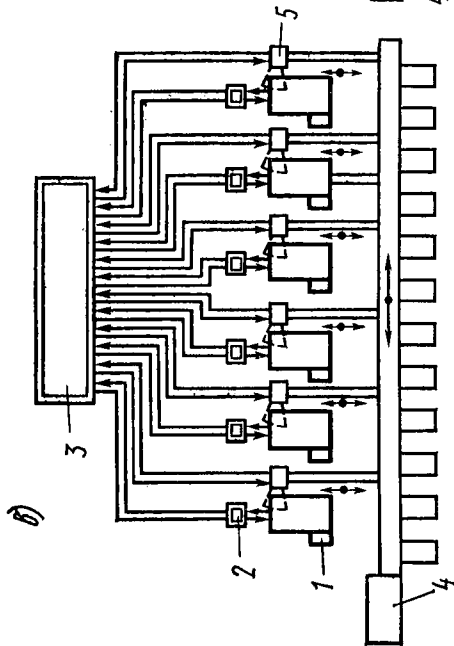
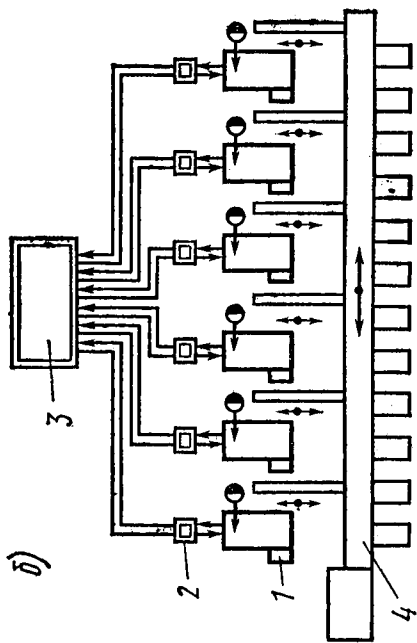
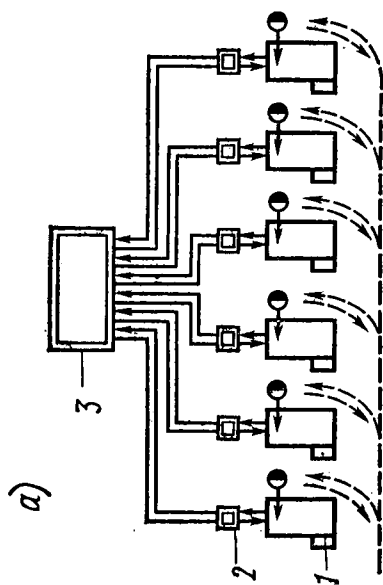


Рис. X-2. Некоторые варианты построения технологических комплексов с управлением от ЭВМ:

1 — станки с программным управлением; 2 — пульта управления; 3 — управляющая вычислительная машина; 4 — транспортно-складывающая система; 5 — механизмы автоматической загрузки и съема изделий; 6 — система снабжения инструментом

циональная диагностика работы оборудования (автоматическое измерение вакуума, контроль работоспособности вакуумных постов и источников питания, подача аварийной сигнализации и т. д.); 3) статистическая диагностика (выдача оперативных сводок о ходе технологического процесса, анализ тенденций изменения откачной способности вакуумных постов и т. д.). Система работает в условиях массового производства.

В автоматическом участке АСВ из станков с числовым программным управлением, созданном ЭНИМСом и работающем на заводе «Станко-конструкция» (см. гл. I, § 4), реализованы следующие функции: 1) управление последовательностью обработки на станках по жестко заданной программе (без автоматического регулирования); 2) управление системой транспортировки и складирования изделий; 3) управление системой подачи инструментальных блоков к станкам и обратно; 4) оперативное планирование загрузки оборудования; 5) автоматизация корректировки программ; 6) хранение управляющих программ в памяти ЭВМ; 7) оперативный учет выпуска продукции.

Система работает в условиях серийного производства с переналадками на обработку изделий типа валов и частично дисков (тела вращения).

Все технические возможные варианты построения АТК, оснащенных АСУ ТП, отличаются: а) стоимостью, б) производительностью, в) эксплуатационными затратами, г) себестоимостью выпускаемой продукции. Это различие определяется:

1) необходимостью дополнительной модернизации, связанной с оборудованием, его автоматизацией, что связано с большими дополнительными затратами по сравнению с группой независимых работающих машин (транспортные, загрузочные, складывающие механизмы и системы);

2) затратами на комплекс технических средств АСУ (вычислительных и управляющих устройств, устройств передачи сигналов и данных, датчиков сигналов и исполнительных устройств, полностью обеспечивающих выполнение всех функций конкретной АСУ ТП);

3) затратами на математическое обеспечение, которое также зависит прежде всего от количества и состава реализуемых функций АСУ (алгоритмическое обеспечение, которое включает описание алгоритмов реализации отдельных функций и общего алгоритма функционирования, и программное обеспечение, которое является реализацией алгоритмов функционирования).

Поэтому основой оценки и выбора оптимальных, экономически наиболее эффективных вариантов построения автоматизированных технологических комплексов является прогнозирование на предпроектной стадии показателей производительности технологического оборудования и стоимости комплекса в целом по сравнению с базовым вариантом — группами высокопроизводительных современных станков-полуавтоматов и автоматов, прежде всего станков с числовым программным управлением.

§ 3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Согласно основным положениям теории производительности (см. гл. II), источником высокой эффективности внедрения технологического оборудования на любых ступенях автоматизации является увеличение выпуска и повышение качества выпускаемой продукции по сравнению с оборудованием того же технологического назначения на более низкой ступени автоматизации.

Если автоматизация не обеспечивает ощутимого роста производительности, даже незначительные капитальные затраты могут не окупиться, так как практически любой базовый вариант также имеет определенные резервы. И наоборот, если автоматизация позволяет резко повысить потенциал производительности, возможна окупаемость самых высоких затрат, особенно при тиражировании автоматизированных систем, применении унифицированных узлов и т. д.

Как правило, введение любой новой функции АСУ позволяет либо интенсифицировать технологические процессы, либо сократить время холостых ходов, либо снизить технические или организационные простои, либо повысить качество изделий и уменьшить брак. При этом, как правило, реализация функций управления оборудованием позволяет сократить длительность цикла; реализация информационно-вычислительных функций — уменьшить простои машин.

Рассмотрим функции АСУ ТП с точки зрения потенциальных возможностей повышения производительности с учетом основных факторов (технологическая, цикловая и фактическая производительность, потери производительности всех видов, см. гл. III).

Управление последовательностью работы основного технологического оборудования от ЭВМ вместо индивидуальных пультов числового программного управления и тем более локальных средств автоматики, механических и гидравлических систем позволяет в ряде случаев повысить режимы обработки, а следовательно, и технологическую производительность K , если эти режимы не лимитируются режущими свойствами инструмента, быстроедействием следящего привода и т. д.; аналогично можно сократить и холостые ходы цикла (время установочных перемещений, подвода и отвода инструмента и т. д.), т. е. уменьшить потери производительности из-за холостых ходов цикла ΔQ_1 . Кроме того, более высокая надежность передачи и воспроизведения управляющей информации непосредственно от ЭВМ по сравнению с индивидуальными процессорами, где программа кодируется на перфокартах, перфоленте, магнитной ленте, дает возможность повысить точность перемещений исполнительных механизмов, а следовательно, сократить потери по браку ΔQ_5 . Вместе с тем интенсификация режимов приводит к снижению стойкости инструмента, а следовательно, росту потерь времени t_{n2} и потерь производительности ΔQ_{11} из-за простоев по инструменту.

Оптимальное регулирование процессов обработки позволяет повысить технологическую производитель-

ность K и снизить потери по браку ΔQ_V . Отличительной особенностью автоматического оптимального регулирования технологических режимов является учет воздействия нерегламентированных возмущающих факторов, например повышенных припусков на обработку, их неравномерности по ходу технологического маршрута, неравномерности твердости и других физико-химических свойств обрабатываемых материалов, состояния технологической оснастки и т. д. Тем самым появляется возможность устанавливать исходные режимы не по самым нагруженным участкам обработки, следовательно, выбирать их более высокими, с саморегулированием в сторону занижения или повышения, с итоговым выигрышем по суммарной длительности технологического воздействия.

Управление транспортными системами для подачи изделий и их отвода после обработки, а также механизмами загрузки и съема изделий позволяет сократить холостые ходы рабочего цикла t_x по сравнению с вариантами ручного обслуживания и тем самым уменьшить потери производительности из-за пауз в обработке, прерывания технологического процесса (см. рис. X-2).

Управление транспортной системой снабжения инструментом позволяет сократить организационные простои и потери производительности ΔQ_{IV} , связанные с отсутствием инструмента на позициях обработки, необходимостью хождения за ним в то время, когда технологическое оборудование простаивает. В обычных условиях производства, особенно серийного, при производстве сложных и трудоемких изделий номенклатура требуемых типоразмеров обрабатывающих инструментов составляет сотни, а иногда и тысячи наименований. Так как на рабочих местах хранение такого комплекта невозможно, инструмент сосредоточивается в инструментально-раздаточных кладовых, откуда выдается по текущему требованию, что вызывает иногда большие потери времени наладчиков и отражается на простоях.

С введением системы автоматической доставки инструмента с управлением от ЭВМ организация производства поднимается на новую, качественно более высокую ступень. Согласно оперативному планированию загрузки, выполняемому ЭВМ, в инструментально-раздаточную кладовую поступает рассчитанная ЭВМ потребность каждой единицы оборудования в тех или иных комплектах инструмента в соответствии с последовательностью запуска партий, типами изделий и размерами партий, характеристиками оборудования. Инструменты подбирают по номенклатуре, налаживают предварительно на требуемые размеры, комплектуют и транспортируют блоками по заданным адресам, с одновременным возвратом отработанных инструментов. Тем самым в ряде случаев возможно существенное сокращение простоев и потерь производительности ΔQ_{IV} .

Функциональная диагностика машин и элементов систем управления означает установление постоянного или периодического контроля за работоспособностью элементов и процессов, наиболее подверженных отказам, путем сравнения с помощью датчиков фактического уровня параметров с допусти-

мым. При этом создается возможность предупреждения тех отказов систем, которые вызываются количественными необратимыми процессами, а также локализации действия случайных отказов. К ним относятся в первую очередь системы контроля правильности передачи и воспроизведения управляющих команд, системы контроля температуры, давления, свойств инструментальных блоков, функциональных параметров систем управления и др.

Использование систем функциональной диагностики позволяет: а) предупреждать отказы в работе технологического оборудования и систем его управления; б) обнаруживать в кратчайшие сроки место и характер возникших отказов и тем самым сокращать длительность их обнаружения и устранения; в) локализовать воздействие возникающих отказов на смежные элементы и подсистемы, т. е. предупреждать появление вторичных, зависимых отказов.

Таким образом, системы функциональной диагностики при реализации их в составе АСУ ТП позволяют сократить потери производительности оборудования из-за долговечности и надежности ΔQ_{III} , а также потери производительности из-за брака ΔQ_V .

Статистическая диагностика работоспособности и использования машин означает автоматизацию функций оперативного учета и анализа работы технологического оборудования по параметрам: длительность рабочего цикла и его элементов, простой технического и организационного характера, уровень обслуживания, производственная дисциплина и т. д. Конечной целью создания систем статистической диагностики является автоматизация получения таких документов, как баланс затрат фонда времени, баланс производительности (см. гл. III) непосредственно в процессе функционирования данного оборудования со сравнением фактических и нормативных величин. Как показывает опыт, внедрение систем статистической диагностики позволяет значительно повысить уровень организации обслуживания и сократить простой по организационным причинам, которые в обычных условиях ускользают из поля зрения, не становятся предметом анализа и воздействия. Тем самым сокращаются потери производительности по организационным причинам ΔQ_{IV} .

Оперативное планирование загрузки оборудования, реализуемое посредством ЭВМ как одна из функций интегрированных систем управления, позволяет находить оптимальные варианты маршрутизации изделий, последовательность запуска тех или иных партий, распределение их по параллельно работающему оборудованию. Такая задача является специфичной для серийного производства и в обычных условиях решается только опытом и интуицией. Электронная вычислительная машина по технологическим характеристикам изделий и оборудования, производственным потребностям и их очередности может проанализировать и множество сочетаний маршрутов, их последовательности и выбрать наиболее приемлемые решения, которые позволяют существенно сократить такой вид простоев, как отсутствие заготовок, неравномерная загрузка машин, а следовательно, и потери по организационным причинам ΔQ_{IV} .

Накопленный опыт показывает, что автоматизация решения задач маршрутизации позволяет и сократить общие потери на переналадку ΔQ_{VI} , так как из множества возможных вариантов маршрутизации можно всегда выбрать такие, при которых по возможности обеспечивается идентичность заменяемых наладок и тем самым минимальное время на переналадку технологического оборудования (замена инструмента, зажимных приспособлений, перерегулировка механизмов и т. д.). Таким образом, автоматизация функций маршрутизации партий изделий в условиях серийного производства позволяет сократить потери производительности по организационным причинам ΔQ_{IV} и переналадке ΔQ_{VI} .

Оперативный учет выпуска и качества продукции как функция АСУ относится к категории организационно-экономических задач, реализуемых обычно на верхних иерархических уровнях интегрированных систем управления. Так как автоматизация учета выпуска и качества продукции позволяет доводить эти сведения до вышестоящих уровней управления (руководство цеха, завода, объединения) неизмеримо быстрее и достовернее, чем без автоматизации, повышается уровень руководства процессом производства. Это находит свое выражение прежде всего в уменьшении организационных простоев и потерь производительности ΔQ_{IV} .

Автоматизация подготовки управляющих программ с самого начала промышленного использования числовых систем управления явилась одной из важнейших проблем. Ручная подготовка управляющих программ, начиная с соответствующей корректировки чертежей, кончая записью программы на программных носителях (магнитной ленте, перфоленте), весьма трудоемка и часто служит источником простоев оборудования из-за необеспеченности его управляющими программами. Автоматизация программирования работы технологического и вспомогательного оборудования, реализация этой функции в комплексе функций АСУ ТП позволяет во многих случаях сократить длительность простоев по организационным причинам и соответствующие потери производительности ΔQ_{IV} .

Автоматизация контроля и корректировки управляющих программ позволяет исключить влияние ошибок управляющих программ на качество изделий и простои оборудования. Несмотря на применение специальных устройств, позволяющих воспроизвести траекторию перемещений и тем самым исключить наиболее существенные ошибки, в управляющих программах возможны ошибки, которые проявляются только в процессе обработки. Очень важно наличие систем, которые могут корректировать траектории перемещения, например, для компенсации износа инструмента, влияния нежесткости конструкций и т. д. Их наличие позволяет в ряде случаев сократить весьма длительные пробные проходы, когда программа сначала «проигрывается» вхолостую, затем на уже обработанной детали и только после этого включается станок на обработку первой детали из партии. Таким образом, функция автоматизации контроля и корректировки программ позволяет сократить потери производительности по браку ΔQ_V и переналадке ΔQ_{VI} .

Хранение управляющих программ в памяти ЭВМ позволяет значительно сократить общее время переналадки оборудования на получение иной продукции, на выполнение другой программы работы. В оборудовании с локальными системами управления (например, с распределительным валом и кулачками) время перехода с одной программы на другую составляет до $\theta_{\text{пер}} = 6-8$ ч; при этом большую часть времени составляет замена программ-носителей (кулачков, упоров, копиров), их наладка и выверка. В системах числового программного управления, где программноносителями являются перфоленты, магнитные ленты и другие, время переналадки существенно сокращено, однако составляет довольно заметную величину (1,5—3,5 ч). К тому же после каждого цикла необходимо время на возврат программноносителя в исходное положение (обратная перемотка ленты). Внедрение ЭВМ для управления последовательностью обработки с хранением управляющей информации в памяти ЭВМ позволяет свести эти затраты времени к минимуму, следовательно, сократить потери производительности из-за холостых ходов цикла ΔQ_1 и переналадки оборудования ΔQ_{v1} .

Оперативное управление ремонтной службой с подключением ЭВМ означает более высокий уровень организации ремонта и обслуживания оборудования. Эксплуатация АТК высокоэффективна только в том случае, если ее обслуживание поручается специализированной ремонтной службе, так как обычные службы главного механика и электрика предприятия (ОГМ и ОГЭ) не обладают специалистами, достаточно знающими специфику технологического оборудования, управляемого от ЭВМ. Создание специализированных служб по обслуживанию АТК с АСУ ТП связано со значительными организационными трудностями, так как данное оборудование обычно рассредоточено по всему предприятию, по разным цехам. Поэтому возникает необходимость централизованного учета заявок на обслуживание аварийных вызовов, планирования профилактических мероприятий по ремонту, осмотрам и т. д.

Программы профилактических мероприятий по плановому техническому обслуживанию закладываются в «память» ЭВМ по всему комплексу технологического оборудования и технических средств АСУ. В соответствии с этими программами ЭВМ выдает на каждый день и неделю перечень нарядов на конкретные виды обслуживания оборудования и КТС АСУ, учитывает аварийные наряды, накапливает информацию, необходимую для рационального формирования структуры планово-предупредительного ремонта (ППР). Оперативное управление ремонтной службой, реализуемое в рамках интегрированных систем управления на базе ЭВМ, позволяет существенно сократить простои по оборудованию за счет предупреждения отказов, уменьшения времени ожидания ремонтников и электриков, тем самым сокращаются потери производительности ΔQ_{111} .

Таким образом, каждая функция интегрированных АСУ несет в себе возможности повышения технологического потенциала оборудования и сокращения тех или иных потерь производительности. Очевидно, *реальная эффективность тех или иных вариантов построе-*

ния АТК, отличающихся количеством и номенклатурой выполняемых функций, определяется, с одной стороны, фактическим уровнем потерь, с другой — потребностью предприятия в повышении производительности.

Следовательно, прогнозирование технического эффекта внедрения АТК с АСУ ТП должно производиться путем сопоставления:

а) исходных характеристик базового варианта — оборудования с числовым программным управлением по итогам эксплуатационных исследований;

б) возможностей повышения производительности при реализации тех или иных функций АСУ ТП.

Прогнозирование технического эффекта применения автоматизированных систем управления по критерию повышения производительности надо выполнять в определенной последовательности на различных этапах предпроектной стадии создания автоматизированных технологических комплексов.

1. Выбор базового, исходного варианта, характеризующего достигнутый уровень автоматизации производственных процессов данной отрасли. В качестве такого оборудования принимают комплекты технологического оборудования, находящиеся на том уровне, который позволяет осуществить их стыковку с АСУ ТП на базе современной вычислительной техники. Таким оборудованием в машиностроении и приборостроении являются, например, станки и другие машины с числовым программным управлением. Для оборудования с другими системами управления (распределительный вал с кулачками, система упоров, копировальные системы и другие устройства локальной автоматики) такая стыковка также возможна, но перечень реализуемых функций АСУ, а следовательно, и потенциальный технический эффект существенно сокращаются.

В ряде случаев возможно проектирование специального оборудования, пригодного для встраивания в АТК, однако такое оборудование всегда должно быть предварительно проверено в индивидуальной эксплуатации с целью выяснения, будет ли оно работать, реализуемы ли заложенные в тем технологические, конструктивные, компоновочные решения. Например, имеется участок из станков-полуавтоматов с числовым программным управлением с индивидуальными пультами управления (рис. X-3, а). Все вспомогательные операции, включая межстаночное транспортирование и складирование, загрузку и съем изделий, наладку инструмента на размер и др., производятся вручную или с помощью средств механизации. Необходимо оценить возможные резервы повышения производительности оборудования при обработке идентичных изделий при создании автоматизированного технологического комплекса (рис. X-3, б).

2. Составление технически реального перечня возможных функций АСУ ТП и всей интегрированной АСУ для данного базового оборудования из всей номенклатуры. При этом в каждом конкретном случае перечень возможных функций конкретизируется и уточняется. Так, для автоматизированных технологических комплексов из машин дискретного дейст-

вия в машиностроении и приборостроении такой перечень приведен в § 2. На основе сравнительного качественного анализа для каждой функции определяются факторы возможного повышения производительности благодаря интенсификации технологических процессов и вспомогательных операций, сокращения технических и организационных простоев; результаты анализа сводятся в таблицу. Так, для создания АТК из станков с числовым программным управлением согласно приведенному выше анализу перечень технически реализуемых функций с факторами повышения производительности приведен в табл. X-2.

Таблица X-2

Функции интегрированных АСУ для АТК	Факторы повышения производительности
Управление последовательностью выполнения рабочих и холостых ходов	$K \uparrow, \Delta Q_I \downarrow$
Оптимальное регулирование параметров технологического процесса	$K \uparrow, \Delta Q_{II} \downarrow$
Управление работой транспортно-складирующих систем для изделий	$\Delta Q_{IV} \downarrow$
Управление механизмами автоматической загрузки-выгрузки	$\Delta Q_I \downarrow$
Управление системой доставки инструмента	$\Delta Q_{IV} \downarrow$
Функциональная диагностика	$\Delta Q_{III} \downarrow, \Delta Q_V \downarrow$
Статистическая диагностика	$\Delta Q_{IV} \downarrow$
Оперативное планирование загрузки оборудования	$\Delta Q_{IV} \downarrow, \Delta Q_{VI} \downarrow$
Оперативный учет выпуска и качества продукции	$\Delta Q_{IV} \downarrow$
Подготовка управляющих программ	$\Delta Q_{IV} \downarrow, \Delta Q_V \downarrow$
Хранение управляющих программ в «памяти» ЭВМ	$\Delta Q_{VI} \downarrow$
Оперативное управление ремонтно-эксплуатационной службой	$\Delta Q_{III} \downarrow, \Delta Q_{IV} \downarrow$
Сбор, первичная обработка и хранение технической и технологической информации	$\Delta Q_{IV} \downarrow$

Как показано в таблице, автоматизация статистической диагностики позволяет уменьшить организационные простои и потери производительности ΔQ_{IV} (символически отмечено стрелкой вниз), управление механизмами загрузки-выгрузки, потери производительности из-за холостых ходов ΔQ_I и т. д.

3. Эксплуатационные исследования работоспособности базового оборудования с целью количественной оценки его функционирования, расчета показателей потенциальной K , Q_{II} и фактической Q производительности, а также потерь производительности всех видов ΔQ_i . Итоговыми документами являются фактическая циклограмма, баланс затрат фонда времени, а также баланс производительности и др. В балансе затрат фонда времени в достаточной степени дифференцируются простои различных видов по причинам и характеру, что облегчает и повышает достоверность последующего анализа. В идеальном случае выделяется такая система видов

и причин простоев, которая полностью стыкуется с возможным перечнем функций АСУ. Например, в организационных простоях выделяют следующие причины:

а) из-за отсутствия заготовок — неподача их на участок из других цехов или по комплектации;

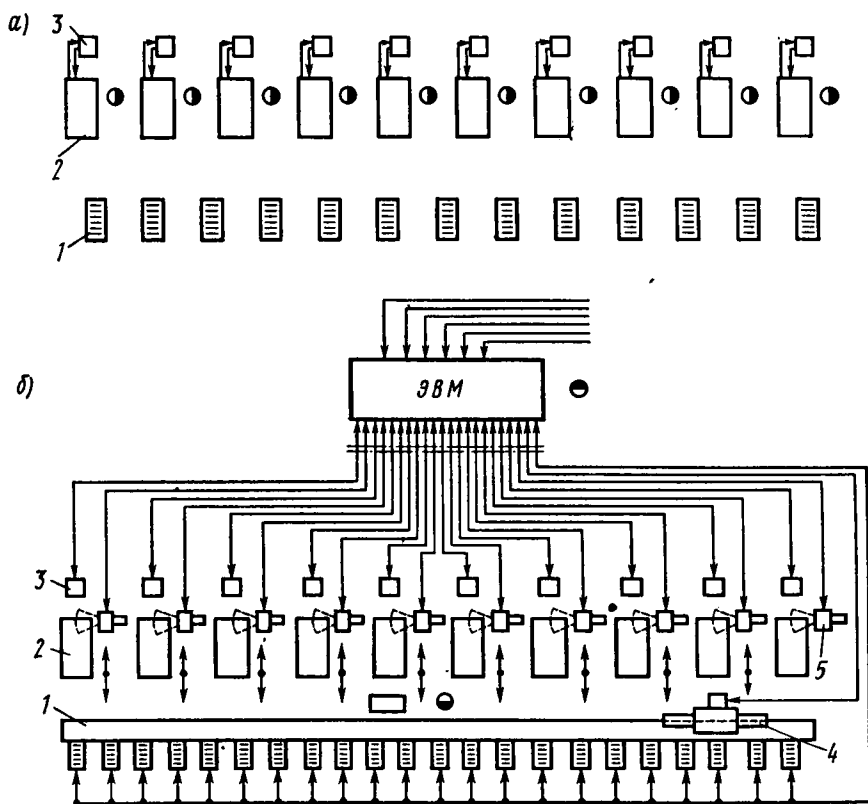


Рис. X-3. Конкурирующие варианты технологических систем из многооперационных станков с программным управлением:

а — группа независимо работающих станков с индивидуальными пультами управления;
 б — автоматизированный технологический комплекс с управлением от ЭВМ; 1 — складывающаяся система; 2 — станки; 3 — пульта управления; 4 — автоматический транспортер-штабелер, 5 — механизмы автоматической загрузки изделий

б) из-за отсутствия заготовок при неупорядоченной маршрутизации различных партий;

в) из-за отсутствия управляющих программ;

г) из-за несвоевременной доставки комплекта инструментов;

д) из-за несвоевременного прихода и ухода обслуживающего персонала и т. д.

Если в процессе выполнения эксплуатационных исследований проводить анализ трудоемкости выполнения неавтоматизированных

вспомогательных операций, можно получить и информацию для количественной оценки ожидаемого эффекта по сокращению количества рабочих при автоматизации.

На рис. X-4 приведена циклограмма работы станка-полуавтомата типа «обрабатывающий центр» при обработке корпусных изделий. Станок предназначен для выполнения операций сверления, зенкерования, развертывания, расточки отверстий, нарезания в нем резьбы,

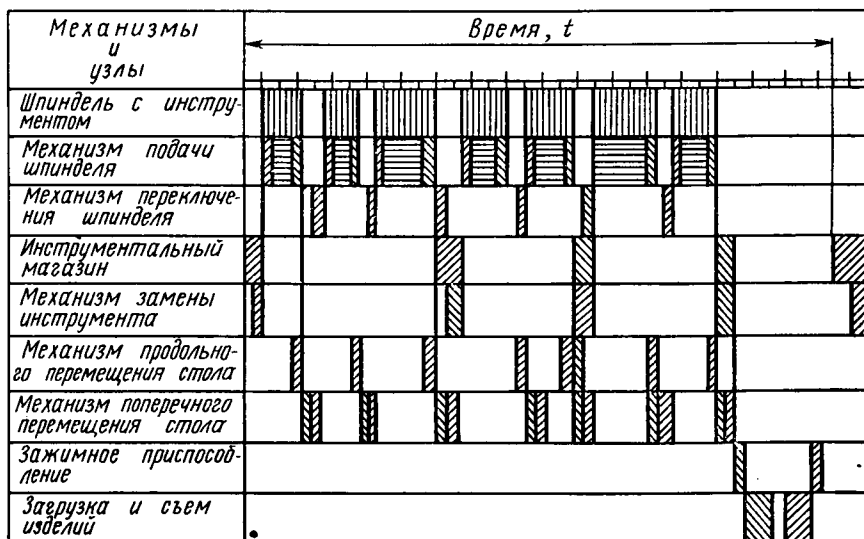


Рис. X-4. Циклограмма работы многооперационного станка-полуавтомата с числовым программным управлением

фрезерования плоскостей, пазов и выемок и других операций и имеет автоматически действующий инструментальный магазин, в котором сосредоточен полный комплект инструмента, необходимый для обработки данного изделия. Основными узлами станка-полуавтомата являются шпиндельная бабка с механизмом подачи инструмента, стол с координатным перемещением в двух взаимно перпендикулярных направлениях (а иногда и с поворотом по нескольким осям), инструментальный магазин, автооператор для замены инструмента в рабочем шпинделе.

Управление циклом работы станка осуществляется от индивидуального пульта управления, который и является процессором. Программа работы всех конструктивных элементов кодируется на программноносителе (магнитная лента, перфолента, перфокарты и др.); в процессе работы станка программа считывается и управляющие импульсы после преобразования (синхронизации, усиления, контроля, сравнения и т. д.) поступают в следящий привод, который производит рабочие и холостые перемещения стола, шпинделя и т. д. Аналогичным образом производится управление поворотом и остановом

инструментального магазина, автооператора, переключением скоростей и т. д.

Циклограмма (рис. X-4) приведена для случая, когда на станке последовательно обрабатываются три отверстия, из них первое обрабатывается тремя последовательно действующими инструментами (в три прохода), остальные — по два прохода. Как видно, полная реализация рабочего цикла станка T при выполнении даже такого весьма простого фрагмента технологического процесса требует большого количества взаимно связанных, точно скоординированных во времени и пространстве перемещений механизмов рабочих и холостых ходов. Отсюда следует, что для управления современным автоматизированным технологическим оборудованием требуются весьма интенсивные потоки управляющей информации.

В представленной циклограмме время рабочих ходов t_p цикла T складывается из общей длительности времен выполнения всех операций обработки, реализуемых с помощью главного движения (вращения) шпинделя и его подачи. На циклограмме оно соответствует участкам, отмеченным малым наклоном линий (для механизма подачи шпинделя). Остальное время составляют холостые ходы: быстрый подвод и отвод шпинделя; установочные перемещения стола в продольном и поперечном направлениях; вращение инструментального магазина, выдача очередного инструмента в исходную позицию для установки в шпиндель; замена инструмента в шпинделе — возврат отработанного инструмента в инструментальный магазин; зажим обрабатываемых изделий в приспособлении и открепление их после окончания обработки; снятие готовых изделий и установка новых заготовок; включение и выключение шпинделя, переключение скоростей его работы и т. д.

Чем быстрее скорость выполнения отдельных рабочих и холостых ходов цикла t_p и t_x , выше степень их совмещения между собой, тем меньше общая длительность рабочего цикла T , а следовательно, выше технологическая и цикловая производительность (при бесперебойной работе)

$$K = \frac{1}{t_p} [\text{шт./мин}]; \quad Q_u = \frac{1}{t_p + t_x} = \frac{1}{T} [\text{шт./мин}].$$

Циклограмма является основным документом для оценки производительности оборудования при бесперебойной работе, а следовательно, и резервов ее повышения при интенсификации режимов обработки, увеличении быстродействия холостых перемещений, их совмещении между собой и т. д.

Баланс затрат фонда времени (см. гл. III) является основным документом, численно характеризующим другие факторы производительности, а именно внецикловые простои технического и организационного характера. В табл. X-3 приведен баланс затрат планового фонда времени станка-полуавтомата с программным управлением. Как видно из общего планового фонда времени, станок работает лишь 66% (с чередованием рабочих и холостых ходов). Остальные 34% составляют внецикловые простои, среди которых наибольший удельный

Таблица X-3

Показатели	Элементы затрат планового фонда времени	В % к плановому фонду времени
Простои по инструменту	Замена по затуплению	0,2
	Аварийная замена	0,5
	Регулировка	0,8
	Всего по инструменту	1,5
Простои по оборудованию	Механизмы главного движения с приводом	0,4
	Стол с приводом и системой обратной связи	0,5
	Инструментальный барабан	0,6
	Механизм замены инструмента	1,2
	Система управления	1,5
	Обслуживающие системы	0,6
	Всего по оборудованию	3,8
Простон по организационным причинам	Отсутствие заготовок	7,0
	Отсутствие управляющих программ	5,5
	Несвоевременный приход и уход рабочих	4,3
	Отсутствие инструмента, электроэнергии	—
	Подготовка к работе и уборка	2,0
	Всего по организационным причинам	18,8
Брак	Погрешности управляющих программ	0,5
	Брак предыдущих операций	—
	Брак данной обработки	0,6
	Всего по браку	1,1
Переналадка	Замена программносителей	0,3
	Замена инструмента в магазине	0,4
	Замена и регулировка механизмов и устройств	1,8
	Установка, выверка, пробные проходы	6,3
	Всего по переналадке	8,8
	Итого простоев	34,0
	Работа	66,0

вес имеют простои по организационным причинам (18,8%) и переналадке (8,8%). Именно здесь имеются наибольшие резервы повышения производительности оборудования при проведении конкретных организационно-технических мероприятий, модернизации, в том числе при включении данного оборудования в состав АТК, с передачей функций управления от индивидуальных пультов к интегрированным системам на основе ЭВМ. Баланс затрат фонда времени работы машин весьма удобно и наглядно выражать в графической форме. На рис. X-5 приведен баланс, построенный в соответствии с табл. X-3.

Баланс производительности является обобщающим документом, который характеризует все факторы производительности машин и в

процессе их безотказной работы с составляющими t_p и t_x , и вследствие наличия внецикловых простоев.

На рис. X-6 приведен типовой баланс производительности станка-полуавтомата с числовым программным управлением. Баланс рассчитан из условий, что согласно программе работы длительность рабочего цикла — интервал выпуска одного изделия составляет $T = 5,8$ мин; из них суммарная длительность обработки $t_p = 3,2$ мин, холостых ходов цикла (включая загрузку и съем обрабатываемых изделий) $t_x = 2,6$ мин. Тогда технологическая производительность $K = 150$, цикловая $Q_u = 83$, фактическая $Q = 54$ шт./см. Диаграмма наглядно показывает и позволяет определять количественно, по каким причинам имеются наибольшие потери производительности. Рассматривая те или иные потери ΔQ_1 , ΔQ_2 и другие как

возможные резервы повышения производительности, можно оценить с той или иной достоверностью потенциальные возможности данного оборудования, технический эффект по производительности оборудования при проведении конкретных технико-организационных мероприятий, в том числе связанных с внедрением АСУ ТП.

4. Оценка потенциального эффекта повышения производительности оборудования при его модернизации и включении в состав автоматизированных комплексов. Так как реализация каждой функции АСУ ТП

(управления или информационно-вычислительной) дает специализированный эффект повышения производительности (см. табл. X-2), сопоставление числовых величин потерь различных видов (см. рис. X-6) с перечнем возможных функций АСУ позволяет оценить (в первом приближении) перспективность реализации каждой из них.

Так, согласно рис. X-4 — X-6 наибольшие потери производительности имеются из-за холостых ходов цикла ΔQ_1 , простоев из-за отсутствия заготовок ΔQ_{IV} и из-за переналадки ΔQ_{VI} .

При совместном анализе показателей производительности станков с числовым программным управлением согласно рис. X-6 и табл. X-1

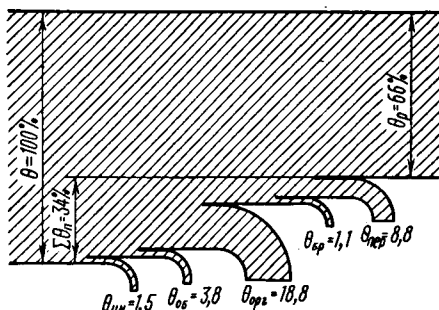


Рис. X-5. Баланс затрат фонда времени станка с числовым программным управлением

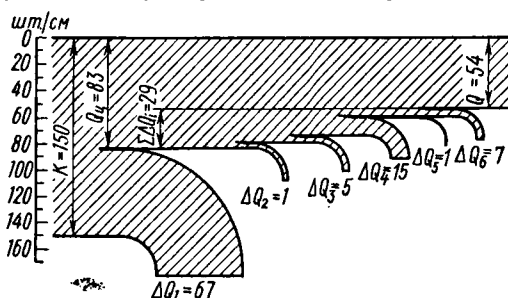


Рис. X-6. Баланс производительности станка с числовым программным управлением

из возможных функций АСУ наиболее перспективными с точки зрения повышения производительности являются:

а) управление последовательностью перемещений исполнительных органов и оптимальное регулирование режимов (повышение технологической производительности и сокращение холостых ходов машины);

б) оперативное управление загрузкой оборудования, учет выпуска, статистическая диагностика (сокращение простоев из-за отсутствия заготовок, а также переналадки);

в) подготовка управляющих программ (сокращение простоев из-за отсутствия управляющих программ).

В то же время реализация любых функций АСУ, направленных на повышение надежности работы оборудования и системы его управления, сокращения простоев по браку и других с точки зрения повышения производительности менее перспективно, так как резервы невелики (например, оперативное управление ремонтной службой, автоматизация доставки инструмента и т. п.). Потенциально возможный эффект повышения производительности оценивается укрупненно при предположении, что данный вид потерь будет сокращен в два раза. В этом случае ожидаемый рост производительности рассчитывается по формуле

$$\varphi_{\max} = \frac{1}{1 - Q_0 \sum_{i=1}^n t_{ni/2}}, \quad (X-1)$$

где $\varphi_{\max}$ — коэффициент возможного роста производительности при максимальном сокращении потерь данного вида; Q_0 — исходная производительность базового варианта в период исследования;

$\sum_{i=1}^n t_{ni}$ — суммарная величина внецикловых потерь тех видов, которые могут быть сокращены; n — число видов потерь, сокращаемых при реализации комплекса функций АСУ ТП.

Так, согласно балансу затрат фонда времени и балансу производительности (рис. X-5 и X-6) исходная производительность станка

$$Q_0 = 54 \text{ шт./см.} = 0,12 \text{ шт./мин.}$$

Внецикловые потери по организационным причинам

$$t_{п IV} = \frac{\theta_{орг}}{\theta_p} T = \frac{18,8}{66,0} 5,8 = 1,66 \text{ мин/шт.},$$

где $\theta_{орг}$ — простои по организационным причинам из-за отсутствия заготовок по балансу затрат фонда времени (см. табл. X-3) в % к фонду времени; θ_p — чистое время работы станка в % к фонду времени; T — длительность рабочего цикла, мин.

Аналогично внецикловые потери из-за переналадки

$$t_{n\text{ в }1} = \frac{\theta_{v1}}{\theta_p} T = \frac{8,8}{66,0} 5,8 = 0,78 \text{ мин/шт.,}$$

где θ_{v1} — простои для переналадки оборудования в % к фонду времени.

Подставляя значения $t_{n\text{ в }1}$ и $t_{n\text{ в }1}$ в формулу (X-1), получаем

$$\varphi_{\text{max в }1} = \frac{1}{1 - 0,12 (1,66 + 0,78)/2} = 1,16.$$

Таким образом, потенциально двухкратное сокращение простоев из-за отсутствия заготовок и для переналадки позволит повысить производительность оборудования не более чем на 16%.

5. Отбор функций интегрированных АСУ, перспективных с точки зрения ожидаемого эффекта повышения производительности оборудования. Производя соответствующие расчеты для различных видов простоев и потерь, можно определить в первом приближении, какие функции АСУ ТП являются перспективными для управления автоматизированными технологическими комплексами, т. е. ранжировать их. Следует отметить, что некоторые функции АСУ при создании автоматизированных технологических комплексов во многих случаях являются безусловными. К ним относятся для дискретных технологических процессов функции автоматического управления последовательностью выполнения рабочих и холостых операций, хранение программ в «памяти» ЭВМ, а также автоматического регулирования технологических режимов, которые являются главным содержанием процесса автоматизации с применением АСУ ТП. Таким образом, на данном этапе производится отбор тех функций, которые целесообразно реализовать при создании АТК. Например, для рассмотренного выше примера этот перечень может выглядеть следующим образом:

- 1) управление последовательностью выполнения рабочих и холостых ходов;
- 2) регулирование режимов обработки с оптимизацией;
- 3) подготовка управляющих программ;
- 4) хранение управляющих программ в памяти ЭВМ;
- 5) оперативное управление загрузкой оборудования, маршрутизацией партий обрабатываемых изделий;
- 6) учет и выпуск продукции по всей номенклатуре;
- 7) статистическая диагностика работы оборудования.

Следует отметить, что в число этих функций, отобранных по критерию потенциального технического эффекта повышения производительности, могут быть добавлены функции, перспективные с точки зрения сокращения количества обслуживающих рабочих и фонда их зарплаты (управление системой транспортирования и складирования, загрузкой и съемом обрабатываемых изделий и т. д., с созданием соответствующих транспортно-складирующих систем, механизмов авто-

матической загрузки изделий, закрепления их на технологических спутниках и др.).

6. Оценка ожидаемого технического эффекта по производительности технологического оборудования при реализации отображенных функций АСУ. Реально ни один вид затрат времени при эксплуатации технологического оборудования не может быть сокращен до предела, до нуля. Поэтому на данном этапе путем конкретного инженерного анализа определяется, во сколько раз (β раз) могут быть сокращены те или иные затраты времени (рабочие и холостые ходы, внецикловые потери) при реализации конкретных функций АСУ. Методы оценки ожидаемого сокращения затрат времени весьма разнообразны и на проектной стадии не могут давать абсолютно достоверные результаты.

В самом простейшем варианте коэффициенты возможного сокращения потерь тех или иных видов β , можно установить методом экспертных оценок. При этом конкретные оценки, данные экспертами, можно обобщить с помощью математических методов современной теории прогнозирования.

В ряде случаев ожидаемые, технически возможные значения коэффициентов сокращения потерь можно получить расчетным путем, с учетом параметров технологического оборудования и систем управления. Так, оптимальная степень сокращения длительности времени обработки — рабочих ходов цикла, соответствующая максимуму производительности оборудования, определяется по формуле

$$\beta = x_{\max} = \sqrt{\frac{t_{po} T_{oi}}{(m-1) a_i t_i}},$$

где t_{po} — время обработки при исходных режимах ($x=1$); m — степенной коэффициент взаимосвязи между скоростью и стойкостью; a_i — время участия данного инструмента в обработке одной детали; t_i — время на замену инструмента; T_{oi} — стойкость инструмента при исходных режимах. Сокращение холостых ходов рабочего цикла

$$\beta = t_{x0}/t_x,$$

где t_{x0} — холостые ходы при базовом варианте; t_x — ожидаемые холостые ходы цикла при автоматизации оборудования.

Внецикловые потери, по определению, есть простои, приходящиеся на единицу продукции (см. гл. III). При этом многие виды потерь в настоящее время можно раскрыть функционально. Так, потери по оборудованию

$$t_{п III} = \omega \theta_{cp},$$

где ω — параметр потока отказов; θ_{cp} — среднее время обнаружения и устранения отказов.

Если система технической диагностики, реализованная в составе интегрированной АСУ ТП, позволяет сократить время единичных

простоев главным образом благодаря уменьшению поиска причин отказов, коэффициент β_{III} сокращения потерь по оборудованию равен отношению длительности единичных простоев до и после автоматизации.

Аналогично потери на переналадку

$$t_{nVI} = \theta_{пер}/Z,$$

где $\theta_{пер}$ — среднее время переналадки оборудования с обработки одних изделий на обработку других, включая переналадку программы, кинематическую перенастройку, замену инструмента и оснастки, перестройку механизмов, пробные проходы и т. д.; Z — количество изделий в партии при серийном характере производства.

Так как размер партии обрабатываемых изделий не зависит от степени автоматизации, коэффициент β_{VI} сокращения потерь на переналадку равен отношению длительности переналадки при базовом варианте с локальными средствами автоматики и при автоматизированном — с АСУ ТП.

Достоверность расчета указанных параметров значительно повышается путем создания опытно-промышленных образцов АТК, управляемых от ЭВМ. Такими экспериментальными системами являются автоматизированные участки из станков с числовым программным управлением, созданные ЭНИМСом, линия вакуумной обработки на заводе «Хроматрон» и др.

7. Составление общей совокупности возможных вариантов построения АСУ, отличающихся количеством и номенклатурой выполняемых функций.

Так как перечень функций определяется ранее, общее количество вариантов определяется как число сочетаний этих функций от единицы до максимума. Так, если максимальное число функций интегрированных систем управления составляет $n = 6$, общее число возможных вариантов

$$C_6 = C_6^1 + C_6^2 + C_6^3 + C_6^4 + C_6^5 + C_6^6 = \sum_{i=1}^6 C_6^i,$$

где $i = 1, 2, \dots, 6$ — числа реализуемых функций АСУ при данном варианте построения.

Согласно определению

$$C_6 = \sum_{i=1}^6 \frac{6!}{i!(6-i)!}.$$

Тогда

$$\text{при } i=1 \quad C_6^1 = \frac{6!}{1!5!} = 6;$$

$$\text{при } i=2 \quad C_6^2 = \frac{6!}{2!(6-2)!} = 15;$$

$$\text{при } i = 3 \quad C_6^3 = \frac{6!}{3! (6-3)!} = 20;$$

$$\text{при } i = 4 \quad C_6^4 = \frac{6!}{4! (6-4)!} = 15;$$

$$\text{при } i = 5 \quad C_6^5 = \frac{6!}{5! (6-5)!} = 6.$$

$$\text{при } i = 6 \quad C_6^6 = \frac{6!}{6! (6-6)!} = 1.$$

Итак, даже при таком весьма ограниченном общем количестве функций АСУ общее количество вариантов построения составляет $C_6 = 63$ варианта.

8. Оценка ожидаемого роста производительности оборудования при создании АТК с различными вариантами АСУ ТП. Расчеты производятся по формуле

$$\varphi = \frac{1}{1 - Q_0 \sum_i t_{ni} (1 - 1/\beta_i)}, \quad (X-2)$$

где φ — ожидаемый коэффициент роста производительности оборудования при данном варианте АСУ ТП; t_{ni} — потери i -го вида, сокращаемые в результате реализации той или иной функции АСУ; β_i — коэффициент ожидаемого сокращения данного вида потерь; $\sum_i t_{ni}$ —

суммарная величина потерь тех видов, которые могут быть сокращены при данном варианте реализации АСУ; i — количество реализуемых функций АСУ при данном варианте ее построения.

Величины t_n определяются расчетами на основе обработки результатов эксплуатационных наблюдений. Величины β определяются инженерным анализом величины потерь и технических возможностей той или иной функции АСУ. Например, одним из возможных вариантов построения автоматизированного технологического комплекса является вариант, приведенный на рис. X-3, б.

В этом варианте посредством АСУ интегрированного типа автоматизируются следующие функции: управление последовательностью обработки (программой работы станков); управление транспортно-складирующей системой; управление механизмами автоматической загрузки и съема изделий; подготовка управляющих программ; оперативное управление загрузкой оборудования; статистическая диагностика работы оборудования, учет времени простоев и работы, количества выпущенных изделий.

При этом предполагается следующее ожидаемое изменение факторов производительности при обработке типовой детали согласно циклограмме (рис. X-4) и балансу затрат фонда времени:

1) общая длительность обработки t_p сократится с 3,2 до 2,7 мин, т. е. $\beta = 1,2$;

2) время холостых ходов цикла вследствие сокращения времени на загрузку и съем изделий сократится с 2,6 до 1,8 мин — на 0,8 мин, т. е. $\beta = 2,6/1,8 = 1,45$;

3) простои из-за отсутствия управляющих программ ликвидируются полностью ($\beta = \infty$);

4) простои из-за отсутствия заготовок сократятся не менее чем в три раза ($\beta = 3$) благодаря рациональной маршрутизации партий и более высокой степени информированности вышестоящих уровней управления;

5) простои на замену программносителей устранятся полностью, простои для замены и регулировки механизмов и устройств при переналадке сократятся вдвое благодаря более рациональной маршрутизации партий обрабатываемых изделий.

Согласно балансу затрат фонда времени рассчитываем исходную величину элементов цикла и внецикловых потерь тех видов, которые сократятся при внедрении АСУ ТП:

1) длительность рабочих ходов цикла $t_p = 3,2$ мин;

2) длительность холостых ходов цикла $t_x = 2,6$ мин

3) потери из-за отсутствия управляющих программ согласно табл. X-2

$$t_n = \frac{\theta_l}{\theta_p} T = \frac{5,5}{66,0} 5,8 = 0,48 \text{ мин/шт.};$$

4) потери из-за отсутствия заготовок на линии

$$t_n = \frac{7,0}{66,0} 5,8 = 0,62 \text{ мин/шт.};$$

5) потери на замену программносителей

$$t_n = \frac{0,3}{66,0} 5,8 = 0,03 \text{ мин/шт.};$$

6) потери на переналадку механизмов и их замену

$$t_n = \frac{1,8}{66,0} 5,8 = 0,16 \text{ мин/шт.}$$

Все данные сводим в табл. X-4. Исходная производительность станка при обработке типовой детали

$$Q_0 = 54 \text{ шт./см.} = 0,112 \text{ шт./мин.}$$

Т а б л и ц а X-4

Элементы затрат времени	Обозначение	Исходная величина $t_{п'}$ мин/шт.	Коэффициент сокращения β
Рабочие ходы цикла	t_x	3,2	1,2
Холостые ходы цикла	t_x	2,6	1,45
Потери из-за отсутствия программ .	$t_{п3}$	0,48	∞
Потери из-за отсутствия заготовок .	$t_{п4}$	0,62	3,0
Потери из-за замены программ . .	$t_{п5}$	0,03	∞
Потери из-за замены механизмов . .	$t_{п6}$	0,16	2,0

Подставляя все полученные значения в формулу (X-2), получаем ожидаемый рост производительности оборудования при данном вари-

анте построения автоматизированного технологического комплекса с АСУ ТП.

$$\varphi = \frac{1}{1 - Q_0 \sum t_{\text{пл}} (1 - 1/\beta_i)} =$$

$$= \frac{1}{1 - 0,112[3,2(1 - 1/1,2) + 2,6(1 - 1/1,45) + 0,48 \cdot 1 + 0,62(1 - 1/3) + 0,03 \cdot 1 + 0,16(1 - 1/2)]} = 1,38.$$

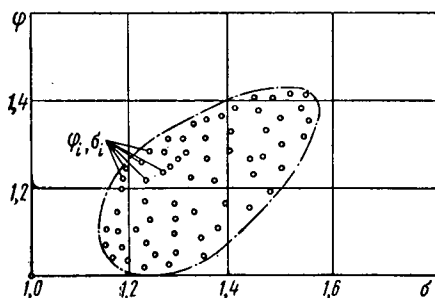


Рис. X-7. Диаграмма прогнозируемых характеристик вариантов построения автоматизированных технологических комплексов

Таким образом, расчетный ожидаемый технический эффект по производительности составляет около 40% по сравнению с исходным уровнем.

Затем необходимо произвести оценку дополнительной стоимости варианта АТК с АСУ по сравнению с базовым оборудованием.

Таким образом, каждый вариант построения АТК характеризуется двумя весьма простыми параметрами: φ_i — увеличением производительности, σ — коэффициентом увеличения стоимости. Следовательно, на диа-

грамме φ , σ (рис. X-7) каждый вариант характеризуется точкой. Исходный вариант (без АСУ ТП) имеет координаты $\sigma = 1,0$; $\varphi = 1,0$.

§ 4. РАСЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ОБОРУДОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Как показано выше, единственным источником получения экономического эффекта от создания автоматизированных технологических комплексов (АТК) является повышение технических характеристик автоматизированного технологического оборудования по трем основным направлениям: увеличение выпуска, повышение качества продукции, сокращение количества обслуживающих рабочих.

Остальные факторы — сокращение длительности производственного цикла, уменьшение объема незавершенного производства, ускорение оборачиваемости оборотных фондов и другие являются вспомогательными, их эффективность в случае необходимости можно специально рассчитать. При этом следует учесть, что сокращение незавершенного производства может быть для предприятия не только прибыльным, но и убыточным. Так, минимальный объем полуфабри-

катов соответствует автоматической линии с жесткой межагрегатной связью (см. гл. IX, § 1), которая имеет минимальную надежность и производительность. Увеличивая в определенной степени объем незавершенного производства путем создания межоперационных заделов, можно резко повысить производительность всего технологического комплекса, а следовательно, эффективность его использования.

В соответствии с методологией инженерных технико-экономических расчетов на проектной стадии (см. гл. II, § 5), рассчитаем требования к техническим характеристикам автоматизированного технологического оборудования, встраиваемого в АТК, исходя из заданного экономического эффекта. Отличие от расчетов, изложенных в гл. II, § 5, заключается в том, что в данном случае необходимо учитывать и эффект повышения качества продукции и сокращения брака. Во многих случаях, например для линии вакуумной обработки кинескопов (см. гл. 10, § 2), эта задача является главной, так как управление длительностью рабочего цикла в состав функций, осуществляемых от ЭВМ, не включено.

Базовым вариантом при технико-экономическом обосновании внедрения АСУ ТП и выборе наиболее эффективных их вариантов являются, как правило, технологические комплексы, которые находятся на достаточно высоком техническом уровне, имеют относительно высокий уровень автоматизации рабочего цикла, однако по жесткой программе. Примерами могут служить: группы независимо работающих станков с программным управлением, оснащенных индивидуальными пультами; технологические линии электронной промышленности (линия вакуумной обработки, линия изготовления масок, линия нанесения люминофора и др.).

Характеристиками исходного варианта являются:

- 1) балансовая стоимость K руб.;
- 2) годовые эксплуатационные затраты по основным категориям (без стоимости основных материалов) C руб. — амортизационные отчисления (плюс плата за фонды), ремонт и межремонтное обслуживание; производственная зарплата обслуживающих рабочих со всеми начислениями; расходы на электроэнергию, инструмент, вспомогательные материалы;

- 3) годовой выпуск годных изделий Q_r шт.;

- 4) доля годных изделий γ_1 , а следовательно, $1 - \gamma_1$ — доля бракованных изделий, не отвечающих техническим требованиям и не принятых ОТК;

- 5) годовая стоимость основных материалов (полуфабрикатов), поступающих на технологический комплекс (в руб.)

$$M = M_1 Q_r,$$

где M_1 — стоимость полуфабрикатов, необходимых для производства годного изделия.

Так как базовый вариант предполагается действующим, а в крайнем случае предполагается его действующие прототипы, все его характеристики и прежде всего капитальные и текущие эксплуатационные затраты, выпуск продукции и другие могут считаться от-

носителем достоверными. Так, числовые значения показателей K и C можно подсчитать по известным методикам с любой степенью точности. Однако для данной решаемой задачи, когда необходимо выбрать варианты проектируемых систем, а не просто подсчитать прибыль, тщательные расчеты не являются целесообразными — излишняя детализация может лишь затруднить оценку влияния тех или иных характеристик на эффективность систем и выбор вариантов. Так как балансовая стоимость K рассчитывается достаточно просто, это относится прежде всего и к текущим эксплуатационным затратам.

Амортизационные отчисления на восстановление стоимости и на ремонт (капитальный и средний) согласно положению рассчитываются как процент от капитальной стоимости оборудования Ka_1 , где a_1 — нормативный коэффициент амортизационных отчислений (так, для автоматических линий при двухсменной работе $a_1 = 0,122$).

Годовые затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание принято исчислять путем умножения условных единиц ремонтосложности механической и электрической частей на стоимость содержания одной единицы ремонтосложности, что производится с помощью имеющихся нормативов. Такая система вызвана тем, что непосредственный подсчет фактических ремонтных расходов по каждой единице оборудования весьма сложен и трудоемок, поэтому расчеты ремонтных затрат по природе своей являются условными и упрощенными. Практика ряда проектных организаций (например, Московского СКБ автоматических линий и агрегатных станков) и исследования МВТУ им. Н. Э. Баумана [9], [12] показывают, что расчеты можно упростить, принимая затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание также пропорциональными балансовой стоимости (капитальным затратам K) в размере Ka_2 . Расчеты показывают, что для станочного оборудования $a_2 = 0,05—0,08$, т. е. годовые затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание составляют 5—8% стоимости оборудования. Нижняя цифра относится к универсальному оборудованию, верхняя — к автоматическим линиям.

Годовые затраты на инструмент, электроэнергию, вспомогательные материалы определяются методами, маршрутом и режимами обработки, а также объемом выпущенной продукции Q_r , т. е. пропорциональны выпуску $m = m_1 Q_r$, где m_1 — затраты на единицу изделия, которые зависят от технологического процесса.

Годовой фонд производственной зарплаты Z рассчитывается в зависимости от количества основных и вспомогательных рабочих среднемесячной зарплатой, сменностью работы, дополнительной зарплатой и начислениями.

Таким образом, для базового варианта годовые эксплуатационные затраты

$$C = K(a_1 + a_2) + Z + m.$$

Как видно, общая величина затрат определяется минимальным количеством первичных показателей K , m , Z и нормативными характеристиками a_1 и a_2 .

Для дальнейших расчетов следует учесть, что большая часть годовых эксплуатационных затрат для оборудования с фиксированными стоимостными, конструктивными и структурными характеристиками от варьирования выпуска на данном оборудовании не зависит: амортизационные отчисления, затраты на ремонт и обслуживание, производственная зарплата. И наоборот, текущие затраты на инструмент, электроэнергию, основные и вспомогательные материалы достаточно строго пропорциональны фактическому выпуску продукции (годной и бракованной).

Таким образом, согласно формуле (II-30), приведенные затраты при исходном варианте

$$\begin{aligned} C_{n1} &= KE_n + C = KE_n + K(\alpha_1 + \alpha_2) + m + 3 = \\ &= K(E_n + \alpha_1 + \alpha_2) + m + 3, \end{aligned}$$

где E_n — нормативный коэффициент эффективности.

Если при том же уровне исходного варианта увеличить выпуск годной продукции в φ раз, то для реализации потребуется φ технологических комплектов исходного варианта (например, количество станков с числовым программным управлением в участке надо увеличить в φ раз). Тогда все затраты пропорционально увеличатся и приведенные затраты по исходному варианту, скорректированные на более высокий уровень выпуска,

$$C_{n1} = \varphi [K(E_{n1} + \alpha_1 + \alpha_2) + m + 3]. \quad (X-3)$$

Конкурирующим вариантом, реализацию которого необходимо выбрать, является технологический комплекс, модернизированный и оснащенный АСУ ТП (автоматизированный технологический комплекс — АТК). Экономический эффект, как отмечено раньше, достигается за счет: а) повышения производительности в φ раз путем интенсификации режимов обработки, повышения быстродействия механизмов и устройств, а также замены ручных операций автоматизированными, повышения надежности в работе, сокращения организационных простоев и т. д.; б) сокращения количества обслуживающих рабочих в ε раз путем автоматизации рабочих и холостых операций, подготовки производства и т. д.; в) сокращения брака благодаря стабилизации и оптимизации технологических процессов обработки, контроля и сборки, применения обратной связи до величины доли выхода годных $\gamma_2 (\gamma_2 < \gamma_1)$.

Для достижения такого эффекта необходимы дополнительные капиталовложения:

1) на модернизацию технологического оборудования, оснащение его механизмами автоматической загрузки и выгрузки изделий, межстаночного транспортирования, накопления заделов и замены инструмента K_1 . В общем случае такая модернизация означает, по существу, создание нового технологического комплекса стоимостью $K + K_1$;

2) на проектирование, монтаж и отладку автоматической системы управления с различным уровнем интегрирования, приобретение средств вычислительной техники общей стоимостью K_2 .

Тогда балансовая стоимость автоматизированного технологического комплекса

$$K + K_1 + K_2 = K\sigma,$$

где σ — коэффициент увеличения стоимости технологического комплекса вследствие его автоматизации

$$\sigma = \frac{K + K_1 + K_2}{K} = 1 + \frac{K_1 + K_2}{K}.$$

Текущие эксплуатационные затраты в годовом исчислении включают те же статьи затрат, как и в исходном варианте:

а) амортизационные отчисления

$$(K + K_1) \alpha_1 + K_2 \alpha'_1,$$

где α_1 — коэффициент амортизационных отчислений основного технологического оборудования; α'_1 — коэффициент амортизационных отчислений АСУ ТП;

б) годовые затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание

$$(K + K_1) \alpha_2 + K_2 \alpha'_2,$$

где α_2 — коэффициент текущих ремонтных затрат для технологического оборудования ($\alpha_2 = 0,05 \div 0,08$); α'_2 — коэффициент текущих ремонтных затрат для системы управления, отношение годовых текущих затрат к стоимости системы управления;

в) затраты на инструмент, электроэнергию, вспомогательные материалы

$$m_1 Q_r \delta \varphi = m \delta \varphi,$$

где m_1 — затраты на единицу выпущенной продукции при исходном (базовом) варианте, руб./шт.; Q_r — годовой выпуск продукции при исходном варианте, шт./год; m — годовые затраты на инструмент, электроэнергию, вспомогательные материалы при исходном варианте, руб./год; δ — коэффициент изменения затрат на инструмент, электроэнергию, материалы, приходящихся на единицу продукции (коэффициент экономичности технологического процесса). Если автоматизация не меняет существа технологического процесса, $\delta = 1,0$; φ — коэффициент роста выпуска продукции (из условия пропорциональности выпуска и затрат);

г) годовой фонд зарплаты обслуживающих рабочих уменьшается по сравнению с исходным вариантом в ϵ раз и составляет $3/\epsilon$.

Тогда суммарные годовые эксплуатационные затраты для автоматизированного технологического комплекса (АТК)

$$C_2 = (K + K_1) (\alpha_1 + \alpha_2) + K_2 (\alpha'_1 + \alpha'_2) + m \delta \varphi + 3/\epsilon. \quad (X-4)$$

Приведенные затраты по второму варианту определяются с учетом различной величины нормативных коэффициентов эффективности E_n для технологического оборудования и вычислительной техники. Так, для машин $E_n = 0,12$; для средств вычислительной техники E_n зависит от отрасли. Некоторые значения E_n приведены в табл. X-5.

Т а б л и ц а X-5

Министерства	E_n
Авиационная промышленность	0,38
Электронная промышленность	0,40
Автомобильная промышленность	0,30
Станкоинструментальная промышленность	0,35
Приборостроение	0,33
Электротехническая промышленность	0,33
Сельхозмашиностроение	0,30

Следовательно,

$$C_{n2} = (K + K_1) E_{n1} + K_2 E_{n2} (K + K_1) (\alpha_1 + \alpha_2) + K_2 (\alpha'_1 + \alpha'_2) + m\delta\varphi + 3/\epsilon = (K + K_1) (E_{n1} + \alpha_1 + \alpha_2) + K_2 (E_{n2} + \alpha'_1 + \alpha'_2) + m\delta\varphi + 3/\epsilon, \quad (X-5)$$

где E_{n1} — нормативный коэффициент эффективности технологических систем; E_{n2} — нормативный коэффициент эффективности комплекса технических средств на базе АСУ ТП.

Годовой экономический эффект внедрения автоматизированного технологического комплекса складывается из экономии на приведенных затратах и экономии от сокращения брака.

1. Разность приведенных затрат при обоих вариантах, с коррекцией на одинаковый выпуск продукции, определяется согласно формуле

$$C_{n1} - C_{n2} = \varphi [K(E_{n1} + \alpha_1 + \alpha_2) + m + 3] - [(K + K_1) \cdot (E_{n1} + \alpha_1 + \alpha_2) + K_2(E_{n2} + \alpha'_1 + \alpha'_2) + m\delta\varphi + 3/\epsilon] = [K(\varphi - 1) - K_1](E_{n1} + \alpha_1 + \alpha_2) - K_2 \times \\ \times (E_{n2} + \alpha'_1 + \alpha'_2) + m\varphi(1 - \delta) - 3(\varphi - 1/\epsilon). \quad (X-6)$$

2. Годовая экономия на сокращение брака с некоторыми упрощениями

$$(M + C_1)(\gamma_2 - \gamma_1) = \Delta [M + K(\alpha_1 + \alpha_2) + m + 3]\varphi, \quad (X-7)$$

где γ_1 и γ_2 — доля годных изделий до и после автоматизации, $\gamma_2 - \gamma_1 = \Delta$; M — стоимость полуфабрикатов на годовой выпуск при исходном варианте; C_1 — годовые эксплуатационные затраты данных операций на производство продукции при исходном варианте; φ — коэффициент увеличения выпуска продукции.

Величина $M + C_1$ составляет полные затраты на годовой выпуск изделий; $(1-\gamma_1)(M + C_1)\varphi$ — величина затрат, которые не дают эффекта, так как данная часть выпущенной продукции оказывается бракованной; $(1-\gamma_1)(M + C_1)\varphi$ — величина неэффективных затрат, связанных с получением бракованной продукции при увеличенном в φ раз выпуске.

Таким образом, годовой экономический эффект создания автоматизированного технологического комплекса с учетом экономии на приведенных затратах и снижения убытков от брака согласно формулам (X-6) и (X-7) составляет:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & [K(\varphi - 1) - K_1](E_{n1} + \alpha_1 + \alpha_2) - K_2(E_{n2} + \alpha'_1 + \alpha'_2) + \\ & + m\varphi(1 - \delta) - 3(\varphi - 1/\varepsilon) + \Delta\varphi[MQ_r + K(\alpha_1 + \alpha_2) + m + 3]. \end{aligned} \quad (X-8)$$

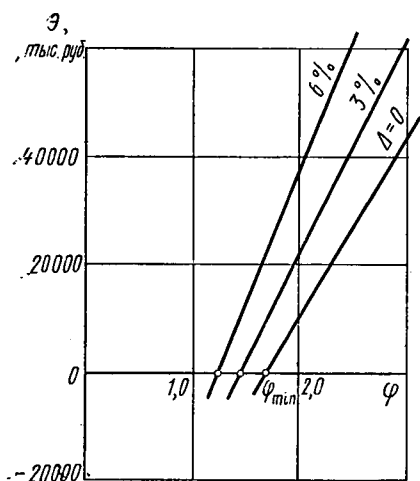


Рис. X-8. Зависимость годового экономического эффекта создания автоматизированных технологических комплексов от повышения выпуска и качества изделий

Как показывает анализ формулы (X-8), экономический эффект создания автоматизированных технологических комплексов на базе АСУ с различной степенью интеграции зависит прежде всего от того, насколько при этом повышается производительность технологического оборудования ($\varphi \geq 1,0$).

На рис. X-8 показаны графики зависимости годового экономического эффекта от повышения производительности оборудования и сокращения потерь по браку, $\Delta = \gamma_2 - \gamma_1$. Как видно, зависимость между входными и выходными параметрами носит линейный характер — чем выше рост производительности φ при внедрении АСУ ТП, тем больше экономический эффект внедрения $\mathcal{E}$ по сравнению с исходным вариантом — обычным технологическим комплексом.

Если внедрение АСУ ТП не обеспечивает ни повышения производительности ($\varphi \leq 1,0$), ни снижения брака ($\Delta \leq 0$), автоматизация является убыточной, так как затраты по автоматизированному варианту выше, чем по исходному, дополнительные капиталовложения за счет только сокращения обслуживающего персонала окупиться не могут. При этом следует учесть, что так как комплекс технических средств (КТС АСУ ТП, см. гл. V, § 7) также требует обслуживания, общее количество обслуживающего персонала при создании АТК существенно сократить нельзя.

Физический смысл величины $\varphi = \varphi_{min}$ получаем из условия $\mathcal{E} = 0$ (равновыгодность обоих вариантов). Как известно, предельным условием экономической эффективности внедрения новой техники по

сравнению с базовым вариантом является равенство приведенных затрат, т. е. годовой экономический эффект равен нулю ($\mathcal{E} = 0$), оба варианта равновыгодны. Это достигается (см. рис. X-8), если рост производительности оборудования φ равен некоторому значению $\varphi_{\min}$. Таким образом, $\varphi_{\min}$ — минимально допустимая величина необходимого роста производительности технологического оборудования при его автоматизации, исходя из обеспечения заданного экономического эффекта.

Таким образом, $\varphi \geq \varphi_{\min}$ — допуск на производительность оборудования при внедрении АСУ ТП и любых систем управления на более высоких иерархических уровнях. Так, например, согласно диаграмме (рис. X-8) для достижения положительного годового экономического эффекта при условии, что качество продукции не изменится ($\Delta = 0$), необходимо, чтобы производительность автоматизированного технологического оборудования повысилась не менее чем на 70% ($\varphi_{\min} = 1,7$). Если при внедрении АТК удастся сократить долю брака на 6% (на 6% повысить выход годных изделий, $\Delta = 0,06$), то требования к росту производительности оборудования снижаются; положительный годовой экономический эффект ($\mathcal{E} \geq 0$) достигается, если рост выпуска продукции составляет 20% и более ($\varphi_{\min} = 1,20$).

Величину $\varphi_{\min}$ можно определить из уравнения (X-8) путем подстановки в него граничного значения критерия эффективности $\mathcal{E} = 0$, после чего уравнение следует решить относительно $\varphi = \varphi_{\min}$. Прежде чем выполнить эти преобразования, необходимо отметить, что величины $E_{n1} + \alpha_1 + \alpha_2$, $E_{n2} + \alpha'_1 + \alpha'_2$ являются нормативными постоянными, значения которых зависят лишь от типа оборудования и отрасли (см. табл. X-3).

Так, в машиностроении для автоматов и автоматических линий $E_{n1} = 0,12$; $\alpha_1 = 0,122$, $\alpha_2 = 0,07-0,08$;
итого укрупненно

$$E_{n1} + \alpha_1 + \alpha_2 = 0,32.$$

Поэтому обозначим

$$E_{n1} + \alpha_1 + \alpha_2 = a; \quad E_{n2} + \alpha'_1 + \alpha'_2 = b.$$

Все расчеты целесообразно вести, используя вместо a и b заранее вычисленные числовые коэффициенты, например $a = 0,32$. Кроме того, технологические затраты на одно изделие при выполнении любого машиностроительного технологического процесса (обработка резанием, контроль, сборка и т. д.) во много раз ниже стоимости полуфабрикатов, поступающих на данную операцию, которая включает стоимость основных материалов и предшествующей обработки.

Следовательно, $MQ_r \gg K(\alpha_1 + \alpha_2) + m + 3$, поэтому слагаемым $K(\alpha_1 + \alpha_2) + m + 3$ в формуле (X-8) можно пренебречь, считая убытки от брака лишь по цене полуфабрикатов, тем более что убытки на эксплуатационных затратах учитываются за счет снижения выпуска φ , который непосредственно зависит от доли годных из-

делий γ . Тогда после подстановки в формулу значения $\mathcal{E} = 0$ и упрощений получим:

$$[K(\alpha - 1) - K_1]a - K_2b + m\varphi(1 - \delta) + 3(\varphi - 1/\varepsilon) + \Delta\varphi M_1 Q_r = 0. \quad (X-9)$$

Уравнение (X-9) является основным уравнением эффективности, связывающим между собой количественные значения всех технико-экономических параметров технологического комплекса и АСУ при условии гарантированной эффективности автоматизации; в него входят:

1) характеристики технологического комплекса как исходного варианта (до внедрения АСУ): K , m , $\mathcal{E}$, Q_r , M_1 ;

2) показатели АСУ: K_1 и K_2 ;

3) сравнительные характеристики автоматизированного технологического комплекса с АСУ: φ , ε , Δ , δ по сравнению с базовым вариантом;

4) нормативные характеристики a и b .

Отсюда можно легко перейти к расчету допустимых числовых значений показателей АТК, для чего достаточно решить уравнение (X-9) относительно любой из величин: φ , Δ , ε .

Решая уравнение (X-9) относительно φ , получаем

$$\varphi_{\min} = \frac{(K + K_1)a + K_2b + 3/\varepsilon}{Ka + m(1 - \delta) + 3 + \Delta M_1 Q_r}. \quad (X-10)$$

Формула показывает, что если внедрение АСУ, сопровождаемое неизбежной модернизацией технологического оборудования, не дает существенного выигрыша в сокращении количества обслуживающих рабочих, в экономичности технологического процесса ($\delta = 1,0$), в повышении качества изделий ($\Delta = 0$), то окупаемость затрат на автоматизацию можно получить только за счет значительного повышения производительности оборудования, за счет интенсификации технологического процесса, повышения надежности в работе и быстроты срабатывания механизмов и устройств (см. § 3).

Следует отметить, что автоматизация управления обычно не влияет существенно на удельные технологические затраты электроэнергии, инструмента, смазочно-охлаждающей жидкости и т. д. (в машиностроении); кроме того, расчет таких изменений весьма труден, поэтому в приближенных проектных расчетах можно принимать $\delta = 1,0$. Тогда формула расчета требований к производительности значительно упрощается:

$$\varphi_{\min} = \frac{(K + K_1)a + K_2b + 3/\varepsilon}{Ka + 3 + \Delta M_1 Q_r}. \quad (X-11)$$

На рис. X-9 приведены графики зависимости минимально необходимого допустимого повышения производительности $\varphi_{\min}$ от затрат на автоматизацию $K_1 + K_2$, а также ожидаемого повышения качества Δ . Как видно, при неизменном качестве выпускаемой продукции ($\Delta = 0$) для окупаемости затрат в 400 тыс. руб. необходимо обеспечить повышение производительности автоматизируемого оборудова-

ния не менее чем на 24 % ($\varphi_{\min} = 1,24$); при затратах в 600 тыс. руб. — на 38%. Лишь затраты меньше чем 80 тыс. руб. могут окупиться без увеличения выпуска продукции ($\varphi_{\min} = 1,0$), за счет сокращения обслуживающих рабочих. Если внедрение АСУ ТП позволит повысить выпуск годных хотя бы на $\Delta = 5\%$, требования к росту производительности снижаются почти вдвое.

Аналогичным путем могут быть рассчитаны требования к повышению качества продукции ($\Delta > \Delta_{\min}$), если создание АТК направлено в первую очередь на решение этой задачи.

Решая уравнение эффективности (X-9) относительно Δ , получаем

$$\Delta_{\min} = \frac{[K_1 - K(\varphi - 1)]a + K_2b - m\varphi(1 - \delta) - 3(\varphi - 1/\varepsilon)}{\varphi M_1 Q_p} \quad (X-12)$$

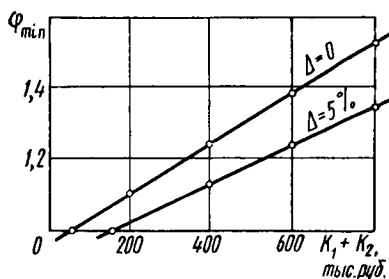


Рис. X-9. Зависимость требований к повышению производительности технологического оборудования, встраиваемого в АТК, от затрат на создание комплекса

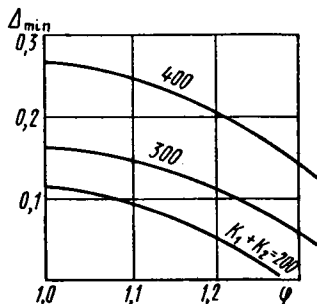


Рис. X-10. Зависимость требований к повышению качества, производительности и затрат на автоматизацию

Зависимость требований к повышению качества изделий от ожидаемого повышения производительности и затрат на автоматизацию приведена на рис. X-10. Как видно, требования к повышению качества зависят в первую очередь от затрат на автоматизацию и стоимости базового оборудования, увеличения выпуска изделий, а также стоимости полуфабрикатов и основных материалов, из которых получают готовые изделия.

§ 5. ОЦЕНКА И ВЫБОР ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ АТК

Оценка и выбор вариантов построения автоматизированных технологических комплексов производится путем сравнения по каждому варианту ожидаемого технического эффекта внедрения АТК (см. § 3) с требуемым (см. § 4). Так как каждый автоматизированный технологический комплекс является специальным оборудованием для конкретных изделий в конкретных условиях производства, при этом необходимо учитывать перспективные темпы роста производственной программы, т. е. необходимо знать, могут ли быть реализованы в дан-

ных конкретных условиях производства потенциальные возможности роста производительности оборудования при встраивании его в АТК.

Таким образом, для оценки и выбора вариантов построения автоматизированных технологических комплексов с управлением от ЭВМ необходимо анализировать следующие категории производительности оборудования:

- 1) минимально допустимый уровень повышения производительности $\varphi_{\min}$ исходя из обеспечения гарантированной эффективности затрат на автоматизацию;

- 2) ожидаемый уровень повышения производительности φ_i как характеристика технического эффекта конкурирующих вариантов построения АТК исходя из номенклатуры функций АСУ ТП;

- 3) максимально возможный уровень повышения производительности $\varphi_{\max}$ по условиям полной реализации всех резервов повышения производительности, заложенных в технологических процессах и конструкциях машин;

- 4) требуемый, технически реализуемый уровень повышения производительности $\varphi_{\text{тр}}$ исходя из перспективной производственной программы предприятия по выпуску данной номенклатуры изделий.

Сопоставление величин $\varphi_{\min}$, φ_i , $\varphi_{\max}$ и $\varphi_{\text{тр}}$ можно наглядно иллюстрировать диаграммой (рис. X-11), построенной в координатах «производительность — затраты на автоматизацию».

Область существования технически возможных вариантов построения АТК с АСУ ТП с координатами φ_i , $(K_1 + K_2)_i$ очерчена

штрихпунктирной линией (рис. X-11, а). Она ограничивается по координате «производительность» значениями $1 < \varphi_i \leq \varphi_{\max}$, где $\varphi_{\max}$ — максимально возможное повышение производительности при реализации всех функций АСУ и использовании их резервов. По координате «стоимость» область существования ограничивается лишь с одной стороны величиной $(K_1 + K_2)_{\min}$ — при минимально возможном комплексе технических средств АСУ ТП (см. гл. V, § 7) с реализацией лишь одной функции.

Конкретные варианты построения АТК, отмеченные кружочками внутри области существования, выделены из первичной генеральной

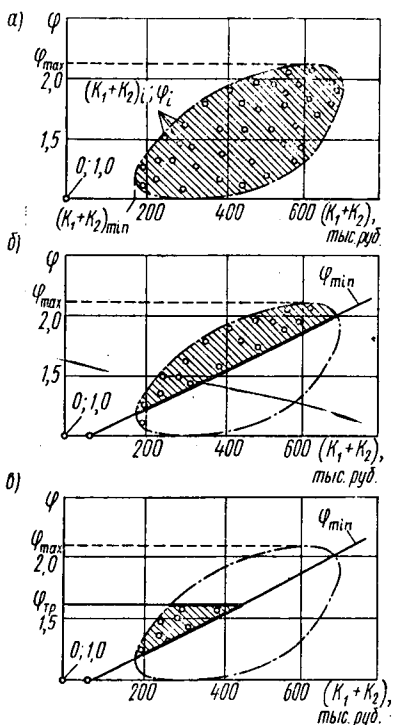


Рис. X-11. Диаграмма для сравнительной оценки и выбора вариантов построения АТК

совокупности (см. § 2) двухкратным отбором: 1) путем группирования вариантов, реализующих комплекс функций, наиболее перспективных с точки зрения повышения производительности оборудования (см. § 3); 2) путем группирования вариантов по интервалам ожидаемой стоимости, например с одинаковым комплектом технических средств АСУ, и выбора из них наиболее производительных; тем самым в каждом интервале дополнительных затрат на автоматизацию остается не более двух-трех вариантов. В результате из первоначальных теоретически возможных сотен и тысяч вариантов построения АСУ ТП (см. § 2) благодаря первичному сравнительному анализу ожидаемого технического эффекта удается выделить ограниченное количество, исчисляемое в лучшем случае десятками.

Сравнивая ожидаемый технический эффект внедрения АТК с требуемым, исходя из гарантированной эффективности капиталовложений, тем самым отсекаем от всей области существования вариантов зону, где выдерживается условие $\varphi_i \geq \varphi_{\min}$ (рис. X-11, б). Все варианты, оказавшиеся ниже прямой $\varphi_{\min} = f(K_1 + K_2)$, либо убыточны, либо обеспечивают эффективность капиталовложений, но ниже нормативной ($E < E_n$).

Однако и оставшиеся варианты эффективны только при условии, если потенциально возможный в результате внедрения АТК прирост выпуска продукции ($\varphi_i > 1$) может быть реализован в данных конкретных условиях производства, т. е. производственная программа и перспективы ее увеличения таковы, что при любом варианте АТК оборудование будет полностью загружено, что бывает далеко не всегда. Например, согласно рис. X-11, а некоторые варианты построения АТК позволяют повысить производительность оборудования путем интенсификации режимов, увеличения быстродействия, повышения надежности, сокращения организационных простоев до 2,2 раза ($\varphi_{\max} = 2,2$). Однако согласно производственной необходимости программа выпуска будет увеличена не более чем на 60% ($\varphi_{\text{тр}} = 1,6$, рис. X-11, в).

Следовательно, при всех вариантах с $\varphi_i > \varphi_{\text{тр}}$ оборудование автоматизированного технологического комплекса недоиспользуется по производительности со значительными простоями из-за отсутствия заготовок, которые невозможно устранить никакими АСУ, с любой степенью их интегрирования. Таким образом, зона существования целесообразных вариантов построения АТК на базе АСУ ТП резко сокращается, выбор из оставшихся вариантов оптимального, экономически наиболее эффективного можно сделать методом прямого перебора (см. гл. IX, § 4).

Однако достоверность и правильность принимаемых инженерных решений зависит не только от метода расчета, но и от точности и достоверности исходных данных. К ним относятся прежде всего ожидаемые значения показателей производительности φ_i и стоимости автоматизации ($K_1 + K_2$), которые на ранних стадиях создания АТК могут оцениваться лишь приблизительно и затем последовательно уточняться в процессе дальнейшей проработки и конкретизации технических решений.

Выше, в табл. X-1, приведена схема последовательности основных

этапов, стадий и периодов процесса создания автоматизированных технологических комплексов с АСУ ТП. Оценка и выбор варианта построения систем, их уточнение и корректировка производятся на всех стадиях процесса создания, начиная с предварительной.

На этой стадии производятся эксплуатационные обследования типового оборудования, пригодного для встраивания в АТК в условиях индивидуальной эксплуатации. При этом согласно методике, изложенной в § 3, производятся исследования работоспособности, расчет возможных резервов повышения производительности при различных вариантах АСУ, а также расчеты ожидаемых затрат на АТК.

На данной стадии ожидаемые характеристики отобранных вариантов построения АТК могут быть определены количественно лишь приблизительно. На исследовательской стадии производятся исследования работоспособности оборудования, уже непосредственно предназначенного к встраиванию в АТК, решаются и отрабатываются принципиальные технические вопросы, прежде всего—стыкования технологических объектов управления и систем управления на основе ЭВМ. При этом неизбежно уточняются функции АСУ, номенклатура технических средств и т. д. Не исключено, что оптимистические прогнозы относительно повышения производительности оборудования не оправдываются в должной степени, а первоначальные данные по стоимости оказываются весьма заниженными; в результате согласно данным исследовательской стадии выбранный вариант оказывается уже в зоне неоптимальных решений. Однако вместе с тем исследования функционирования объектов управления позволяют открыть новые возможности, уточнить выбранный вариант, сделать его более рациональным и эффективным. Так, анализируя реальные затраты машинного времени ЭВМ на выполнение отдельных функций управления и информационно-вычислительных, возможно увеличение количества этих функций за счет более полной загрузки ЭВМ.

В результате комплекс технических средств может остаться практически неизменным, небольшие дополнительные затраты прежде всего на математическое обеспечение могут обеспечить существенное увеличение производительности оборудования; в результате система по своим показателям становится экономически эффективной. Дальнейшее уточнение функций АСУ и конкретизация выбранного варианта реализации АТК производится на стадии разработки (см. табл. X-4), при этом происходит дальнейшее уточнение величины ожидаемого технического эффекта и затрат на создание АТК.

Анализ процессов функционирования автоматизированных технологических комплексов с управлением от ЭВМ, всестороннее изучение фактического эффекта их внедрения по производительности оборудования и качеству продукции не только позволяют реализовать обратную связь на последующее проектирование, широкое внедрение таких систем, но и решать на научной основе вопросы технической политики в области автоматизации производственных процессов.

1. Адаптивное управление станками. Под ред. Б. С. Балакшина. М., «Машиностроение», 1973, 684 с.
2. Белоусов А. Н., Дашенко А. И. [и др.]. Автоматизация процессов машиностроения. М., «Высшая школа», 1973, 456 с.
3. Белянин П. Н. Промышленные роботы. М., «Машиностроение», 1975, 400 с.
4. Бойцов В. В. Механизация и автоматизация в мелкосерийном и серийном производстве. М., «Машиностроение», 1971, 416 с.
5. Вальков В. М., Вершин В. Е. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. М., «Машиностроение», 1973, 160 с.
6. Вальков В. М. АСУ ТП в производстве изделий электронной техники. М., «Советское радио», 1974, 72 с.
7. Винокуров В. А. [и др.]. Управление качеством продукции. М., «Московский рабочий», 1974, 224 с.
8. Владзиевский А. П. Автоматические линии в машиностроении. М., Машгиз, 1958, книга I, 430 с.
9. Волчков Л. И. Надежность автоматических линий. М., «Машиностроение», 1969, 308 с.
10. Волчков Л. И., Усов Б. А. Автооператоры. М., «Машиностроение», 1974, 214 с.
11. Волчков Л. И., Кузнецов М. М., Усов Б. А. Автоматы и автоматические линии. М., «Высшая школа», 1976, ч. I, 230 с.; ч. II, 336 с.
12. Вороничев Н. М., Генин В. Б., Тартаковский Ж. Э. Автоматические линии из агрегатных станков. М., «Машиностроение», 1971, 552 с.
13. Дикущин В. И. Программное управление станками. М., «Наука», 1975, 160 с.
14. Жимерин Д. Г., Мясников В. А. Автоматизированные и автоматические системы управления. М., «Энергия», 1975, 680 с.
15. Клусов И. А. Технологические системы роторных машин. М., «Машиностроение», 1976, 230 с.
16. Конюх А. И., Ящерицын П. И. [и др.]. Количественная оценка и методы повышения надежности и производительности автоматических станочных линий. М., НИИМаш, 1973, 78 с.
17. Корсаков В. С. [и др.]. Основы технологии машиностроения. М., «Высшая школа», 1974, 335 с.
18. Корытин А. М., Шепарев Н. К. Оптимизация управления металлорежущими станками. М., «Машиностроение», 1974, 194 с.
19. Кошкин Л. Н. Комплексная автоматизация производства на базе роторных линий. М., «Машиностроение», 1972, 352 с.
20. Лещенко В. А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. М., «Машиностроение», 1975, 288 с.
21. Макаров Л. Л. Станки с программным управлением и их эксплуатация. М., «Машиностроение», 1968, 144 с.
22. Малов А. Н., Иванов Ю. В. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. М., «Машиностроение», 1974, 365 с.
23. Надежность в технике. Термины. ГОСТ 13377-75. Издательство стандартов, 1975, 21 с.
24. Никитенко В. Д. Подготовка программ для станков с программным управлением. М., «Машиностроение», 1974, 239 с.

25. П р о н и к о в А. С. Основы надежности и долговечности машин. М., Издательство стандартов, 1969, 157 с.
26. П о п о в Е. П. Роботы-манипуляторы. М., «Знание», 1974, 70 с.
27. Р а б и н о в и ч А. Н. Автоматизация механосборочного производства. Киев, «Вища школа», 1969, 542 с.
28. Х а р и з о м е н о в И. В. [и др.]. Системы числового программного управления и перспективы их развития. М., «Машиностроение», 1975, 168 с.
29. Ш а у м я н Г. А. Автоматы и автоматические линии. М., «Машиностроение», 1961, 552 с.
30. Ш а у м я н Г. А., К у з н е ц о в М. М., В о л ч к е в и ч Л. И. Автоматизация производственных процессов. М., «Высшая школа», 1967, 471 с.
31. Ш а у м я н Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов. М., «Машиностроение», 1973, 639 с.

- Автомат 16, 47, 157
 Автоматизация комплексная 21, 22
 Автооператор 28, 130, 202 388
 Автоукладчик 164, 165
 Агрегат 161, 164, 170, 171, 174, 175
 Адрес выдаваемых команд 168
 Алгоритм 209, 218, 220, 221
 АСУП 207, 210
 АСУП ТП 3, 208, 217, 385, 387
 Аттестация государственная 199
- Базирование 189, 190
 Баланс затрат фонда времени 115, 403
 — производительности 115, 404
 Безотказность 118, 142, 303
 Блок команд 170
 Блокировка взаимная 157
 Бункер 38
- Вал кулачковый 173
 — распределительный 152, 153, 157
 Варианты автоматических линий
 структурные 339
 Выключатель конечный 155, 172, 173
 — пакетный 161, 163
- Гидропривод 155
 Гидростанция 161
 Гидроавтоматика станка 158
 Головка несамодействующая 161,
 170
 — револьверная 39
 — самодействующая 160
 — силовая 39, 157, 168, 172
 Группы оборудования 23, 24, 25
- Диагностика статистическая 388, 396
 — функциональная 388, 395
 Дискретность 47
 Диспетчирование 39
 Дисплей 36
 Дистанционность управления 153
 Дифференциация 8, 97, 110
 Длительность рабочего цикла 125
 Долговечность 8, 84, 119, 142
- Зависимость вероятностная 217
 — детерминированная 217
 Завод автоматический 21
 Задел межоперационный 174
 Затраты приведенные 72, 78
 Золотник 173
- Износ 143
 Инверсирование команд 159
 Интенсификация режимов 171
 Искатель поврежденный 182, 184,
 185
 — шаговой 172, 183, 185
 Испытание на надежность 130
- Кадр 41
 Кантователь 155, 157
 Качество интегральное 201
 — продукции 5, 7, 143, 202
 Кинематика станка 158
 Классификация роботов 308
 Кодирование 217, 218
 Коллектор фиксатора 165
 Командоаппарат 163, 164, 171, 174
 Компоновка автоматических линий
 конструктивная 353
 — линий 338, 353
 Конденсатор 178
 Комплекс автоматизированный тех-
 нологический 38, 385, 391, 398,
 412, 415
 Концентрация операций 48, 110
 Копир 153, 187
 Коэффициент использования 87,
 104, 113
 — роста производительности труда
 57, 58, 59, 61
 — технического использования 79,
 80, 87, 88
 — эффективности капиталовло-
 жений 71
 Кулачок 167, 187
- Лампа сигнальная 186
 Линия автоматическая 19, 20, 24,
 27, 152, 153, 157
 — — с гибкой связью 339
 — — с жесткой связью 339
 — — с переменной структурой 349

— с программным управлением 34
— разделенная на участки 340
Линия поточная 24, 25, 338
— роторная 22
Лоток 182

Магазин 41, 42, 164, 165, 182
— инструментальный 39, 40
Машина-автомат 3
Машина автоматическая 47
— роторная 32, 33
Метод импульсный подачи команд 170

Механизм зажима 154, 184, 239
— исполнительный 164
— целевой 171, 226, 227
Механизмы передвижения роботов 321

— рабочих ходов 23
— холостых ходов 23
Механизация системы 212
Модели математические 107, 123
Моделирование математическое 107
Муфта электромагнитная 159

Надежность 6, 81, 112, 118, 129, 142, 303, 387

Накопитель 41, 174
Накопление заделов 9, 103, 112, 125, 296

Обработка одноинструментальная 92
Окймашприбор 204
Оператор 169
Операция логическая 219
Оптимизация 6, 158, 393
Отказ 103, 119, 128, 157, 289, 303

Пара шариковая винтовая 40
Патрон зажимный 42
Пауза 158
Перескок 158
Перфокарты 153
Перфолента 36, 180, 187
Планировка автоматических линий 153

Плунжер 173
Пневмоавтоматика станка 158
Поверхность базовая 190
Подсистема автономная 162, 171
Позиция 156
— загрузочная 27
— рабочая 18, 113, 139

Показатели технико-экономические 6, 125, 389,
Положение нулевое 171
Полуавтомат токарный 33, 39

Прирост производительности труда среднегодовой 72
Приспособление-спутник 27, 190
Программа жесткая 75
Программирование жесткое 217
— линейное 214
Прогрессивность техники 72, 73
Производительность 6, 83, 91, 102, 118, 126, 129, 142, 371, 373, 385
— линии цикловая 341
Процесс производственный 10, 97, 102, 112
Процессор 41

Расфиксация 152, 154, 155
Регулирование многосвязное 218, 219
Реле времени 157
— давления 155
— контроля 160
Ресурс 124
Робот 302, 306, 307
Роботы промышленные 302, 303
— сборочные 334
Рольганг 27
Рост производительности труда 57, 59
Ротор рабочий 32
— транспортный 32

Самопитание 157, 165
Светофор 179
Связь гибкая 109, 274, 338
— жесткая межагрегатная 89, 103, 155, 162, 163, 339, 341, 342, 413
— обратная 153, 172, 173, 204
Системы управления интегрированные 389
Система управления 14, 22, 39, 41, 152, 155
— — роботов 321
— — самоприспосабливающаяся 40
— — смешанная 153, 169, 172
— децентрализованная 163, 171, 209
— контроля и управления качеством 199
— машин автоматическая 46
— многопоточной линии транспортной 362
— обеспечения качества 205
— транспортная многолотковая 359
— транспортно-накопительная 40, 273
— транспортно-складская 39
— централизованная 163, 164, 165, 167, 171, 209
Склад автоматизированный 40
Сиена инструмента автоматическая 42
Спутник 27, 189
Срок окупаемости 127

Сроки службы оборудования 52
Станок агрегатный 20, 24, 134
— многопозиционный агрегатный 20
Стол поворотный 21, 156, 197
Структура автоматической линии
оптимальная 340, 369
Ступени автоматизации 18
Схема блокирующая 175
— гидрокинематическая 173
— мнемоническая 173
— структурная 12, 14, 16, 31, 102,
109, 129
— управления логическая 38
Счетчик электромеханический 178

Теория производительности 47, 50,
59, 343
Технология маршрутная 190
Точность 99, 144
Транспортер 9, 155, 165, 177, 179
— питающий 177
— распределитель 179, 273, 356,
365
— шаговый 153, 154, 163, 164, 229
Транспортеры грейферные 229
Транспортировка межстаночная 30
Труд живой 38, 51, 58
— прошлый 50

Упор 152, 153, 156, 157, 180, 187
— жесткий 157
Управление групповое програм-
мное 39
— логическое 218, 219
— программное числовое 34
Устройство коммутирующее 174
— обратной связи 153
— передаточно-преобразующее 159
— поворотное 156
— роботов манипуляционное 316
Устройства роботов приводные 318
Участок автоматизированный 39, 40
— линии 91, 103, 113, 180, 340, 346

Фиксация 154
Функции информационно-вычисли-
тельные 219
— роботов 304

Ход рабочий 91, 169, 403
— холостой 18, 23, 91, 95, 169,
170, 403, 408

Цель автоматизации 47
Цепь контроля 184, 185
— управления 158, 162
Цех автоматический 21
Цикл 18, 158, 163, 165
— работы автоматический 156, 165,
182
Циклограмма 14, 16, 17, 25, 103,
152, 163, 171, 197, 388, 402

Число позиций 97
— участков оптимальное 133, 346

Шпиндель 161
Штабелер 40, 41
Штанга 165

ЭВМ 24, 207
Электросхема запоминания 168
— суммирования 169
Электроаппаратура 179
Электропривод шаговый 40
Элементы линии 158
Электроштабелер 40
Эффект годовой экономический 81
Эффективность экономическая 6, 68,
74, 112, 129

Юстировка 43

	<i>Стр.</i>
Предисловие	3
Введение. О методологии и научно-теоретической основе курсов по автоматизации производственных процессов для машиностроительных специальностей	5
Г л а в а I. Производственный процесс и его автоматизация	10
§ 1. Элементы производственного процесса	10
§ 2. Основные ступени автоматизации производства	14
§ 3. Типы автоматических линий	23
§ 4. Автоматизированные технологические комплексы с управлением от ЭВМ	38
Г л а в а II. Проблемы и пути развития автоматизации производственных процессов	46
§ 1. Теория производительности труда как научная основа решения проблемных и прикладных вопросов автоматизации	46
§ 2. Основные положения теории производительности машин и труда	50
§ 3. Пути повышения производительности труда — пути автоматизации	62
§ 4. Экономическая эффективность и прогрессивность новой техники	68
§ 5. Инженерные методы расчета и оценки экономической эффективности автоматизации производства	74
Г л а в а III. Производительность автоматических линий	83
§ 1. Основные положения	83
§ 2. Производительность линий при различной степени дифференциации и концентрации операций	90
§ 3. Производительность линий при различных структурных вариантах	102
§ 4. Методы анализа и расчета производительности действующих автоматических линий	112
Г л а в а IV. Надежность автоматических линий	118
§ 1. Общие положения	118
§ 2. Зависимость технико-экономических показателей автоматических линий от надежности	125
§ 3. Расчет ожидаемых показателей надежности проектируемых автоматических линий	129
§ 4. Долговечность автоматов и автоматических линий	142
Г л а в а V. Системы управления автоматических линий	152
§ 1. Функции и классификация систем управления	152
§ 2. Системы управления машин и агрегатов	158
§ 3. Системы блокировки, сигнализации и отыскания неисправностей	174
§ 4. Программирование автоматических линий	187
§ 5. Системы контроля и управления качеством	199
§ 6. Автоматизированные системы управления производством (АСУП)	207
§ 7. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП)	217

	<i>Стр.</i>
Глава VI. Целевые механизмы автоматических линий с жесткой связью	226
§ 1. Функции и классификация механизмов	226
§ 2. Шаговые транспортеры	228
§ 3. Механизмы зажима и фиксации	239
§ 4. Механизмы изменения ориентации	249
§ 5. Накопители заделов	257
§ 6. Компоновка транспортных систем	261
§ 7. Механизмы транспортирования и уборки стружки	265
Глава VII. Целевые механизмы автоматических линий с гибкой связью	269
§ 1. Функции целевых механизмов	270
§ 2. Транспортеры-подъемники	274
§ 3. Транспортеры-распределители	279
§ 4. Лотковые транспортирующие устройства	285
§ 5. Отводящие транспортеры	292
§ 6. Механизмы накопления изделий	296
Глава VIII. Промышленные роботы и манипуляторы	302
§ 1. Функции и классификация роботов	304
§ 2. Целевые механизмы роботов	316
§ 3. Применение промышленных роботов в машиностроении	330
Глава IX. Компоновка автоматических систем машин	338
§ 1. Расчет оптимальной структуры автоматических линий	340
§ 2. Автоматические линии с переменной структурой	349
§ 3. Выбор конструктивной компоновки автоматических линий	353
§ 4. Выбор оптимального варианта при проектировании автоматических линий	368
Глава X. Оценка и выбор вариантов построения автоматизированных технологических комплексов (АТК) с управлением от ЭВМ	383
§ 1. Задачи и этапы технико-экономического обоснования	383
§ 2. Вариантность построения систем	387
§ 3. Прогнозирование технического эффекта по производительности оборудования	394
§ 4. Расчет требований к техническим характеристикам оборудования автоматизированных технологических комплексов	412
§ 5. Оценка и выбор вариантов построения АТК	421
Литература	425

**Михаил Михайлович Кузнецов,
Леонид Иванович Волчкович,
Юрий Павлович Замчалов**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Под ред. проф. Г. А. ШАУМЯНА

**Издание 2-е,
переработанное и дополненное**

**Редактор З. Г. Овсянникова. Художественный редактор Т. А. Дурасова. Техни-
ческий редактор З. В. Нуждина. Переплет художника А. К. Зефирова. Кор-
ректор Р. К. Косинова.**

И.Б. № 1064

**Т—19936. Сдано в набор 13/VI-77 г. Подп. к печати 23/XI-77 г. Формат 60×90^{1/16}.
Бум. тип. № 2. Объем 27 печ. л. Усл. п. л. 27. Уч.-изд. л. 29,53. Изд. № ОТ—
252/74. Тираж 50 000 экз. Зак. № 517. Цена 1 р. 40 к. План выпуска литературы
издательства «Высшая школа» (вузы и техникумы) на 1978 г. Позиция № 77.
Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14.**

**Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном ко-
митете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной
торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.**