

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Московский государственный институт электронной техники
(технический университет)

Ю.П. Анискин, Л.И. Лукичева, А.Ю. Бударов

Научно-производственный менеджмент

Учебное пособие

Под редакцией доктора экономических наук,
профессора Ю.П. Анискина

Утверждено редакционно-издательским советом института

Москва 2009

УДК 65.9(2)30-2
Н34

Рецензенты: докт. экон. наук, проф. *Н.П. Масленникова*;
докт. экон. наук, проф. *В.Г. Самойлович*

Анискин Ю.П., Лукичева Л.И., Бударов А.Ю.

Н34 Научно-производственный менеджмент: уч. пособие. - М.: МИЭТ, 2009. - 100 с.: ил.
ISBN 978-5-7256-0560-0

Кратко изложены основные теоретические и практические разделы организации и управления научными и производственными процессами на предприятии. Приведены примеры решения типовых задач, задачи для самостоятельного решения, контрольные вопросы по изучаемым темам.

Предназначено для студентов технических факультетов МИЭТ.

ISBN 978-5-7256-0560-0

© МИЭТ, 2009

Учебное пособие

Анискин Юрий Петрович
Лукичева Любовь Ивановна
Бударов Андрей Юрьевич

Научно-производственный менеджмент

Редактор *Е.Г. Кузнецова*. Технический редактор *Е.Н. Романова*. Корректор *Л.Г. Лосякова*. Верстка авторов.

Подписано в печать с оригинал-макета 28.12.09. Формат 60х84 1/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 5,8. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 500 экз. Заказ 219.

Отпечатано в типографии ИПК МИЭТ.

Введение

В условиях развития инновационной экономики происходят коренные изменения технологического базиса общественного производства. Особое значение на современном этапе приобретает научно-производственный потенциал, который в значительной степени определяет успех национальной экономики, качество производимой продукции и услуг. Степень развития интеллектуального труда и его участия в производственных процессах становится важнейшим фактором, определяющим конкурентоспособность организации.

Решение проблем развития инновационной экономики требует углубленного знания высоких наукоемких и информационных технологий, организации и управления производством, а также инструментов и методов эффективного управления инновационными процессами. Именно поэтому важно процесс обучения студентов технических вузов дополнять теоретическими знаниями и практическими навыками управления научными исследованиями и производством.

Учебное пособие по курсу «Научно-производственный менеджмент» выполнено в рамках национальной образовательной программы «Образование» и предназначено для студентов технических направлений и специальностей. Цель пособия - привить навыки решения практических задач по организации и управлению исследовательскими и производственными процессами.

В ходе обучения студент должен понять взаимосвязь инновационного цикла с производственным, научиться определять экономический эффект от повышения качества и надежности разрабатываемых систем, формировать информационные потоки, необходимые для принятия решений как в сфере исследований, так и в сфере производства.

Решение приведенных в пособии задач и выполнение заданий позволит приобрести навыки практической работы по организации научно-исследовательских и производственных процессов.

От инженеров, работающих на предприятиях, требуются не только технические задания, но и организационно-экономический аспект выполнения технических заданий. Полученные знания и навыки дадут студенту основу для ориентации в изменяющейся рыночной среде и гибкой реакции на промышленный или потребительский спрос.

При подготовки учебного пособия использовался многолетний научно-педагогический и практический опыт авторов - преподавателей экономических дисциплин.

Авторы выражают признательность И.А. Вендиной за помощь в подготовке рукописи.

1. Формирование информационных потоков при планировании научных исследований

Цель занятия: создать оптимальную систему информационных потоков для эффективного информационного обеспечения научных исследований.

Основные теоретические положения

Порядок проведения научно-исследовательских работ регламентирован ГОСТ 15.101-80. Конкретный перечень этапов и характер выполняемых в их рамках работ определяются спецификой НИР. Тем не менее, можно выделить следующие общие для всех научных исследований этапы.

I. Разработка технического задания на научно-исследовательскую работу.

В рамках данного этапа проводятся предварительные исследования, которые включают в себя маркетинговые исследования, анализ результатов фундаментальных и поисковых научных исследований, изучение патентной документации, анализ требований заказчиков.

Кроме того, необходима информация об объекте исследования: перечень его функций, общетехнические требования. Она, как правило, содержится в стандартах, нормативных документах об экологических ограничениях, требованиях по надежности и ремонтпригодности.

Для формулировки технического задания также необходим перечень физических и других эффектов, закономерностей и теорий, которые могут быть основой принципа действия изделия, сведения о научно-техническом потенциале исполнителя НИР, сведения о требуемых материальных и производственных ресурсах, описание ожидаемого экономического эффекта.

В рамках подготовки технического задания возможно проведение исследований существующих на конкретном рынке предложений по лицензиям, патентам и «ноу-хау», касающихся объекта исследований.

Основной задачей является четкая формулировка цели и задач прикладной научно-исследовательской работы. Особенность этого вида деятельности заключается в том, что максимально точная формулировка требований к будущему изобретению позволит оптимизировать финансирование проекта и снизить величину затрат. Необходимо четко определить назначение будущей разработки, ее предполагаемые конкурентные преимущества и целевые сегменты потребителей.

II. Выбор направления исследований.

Этот этап связан с формулировкой основных ориентиров при разработке изделия. Необходимо учитывать тот факт, что с момента проведения данного этапа до выхода изделия на рынке пройдет значительный промежуток времени, возможно, изменится конъюнктура соответствующего сегмента рынка и появятся новые технологии. Особо значимо это обстоятельство для наукоемких видов бизнеса, в которых наблюдается высокая интенсивность конкурентной борьбы и появления инновационной продукции.

Данный этап включает в себя сбор и исследование максимально возможного объема научно-технической информации, касающейся предмета научных исследований. На этом этапе важно систематизировать и классифицировать все сведения относительно будущей разработки, выявить возможные направления решения отдельных задач в рамках проведения НИР. Существенным моментом является проведение подробных патентных исследований, так как от этого может зависеть выбор той или иной концепции разработки. Более того, патентный анализ позволяет избежать в будущем судебных разбирательств, больших штрафов и повторных исследований.

В конце данного этапа проводится сравнение выявленных возможных направлений исследований и разработок, окончательно выбирается главное направление и проводится его комплексное обоснование, заключающееся в определении основных и значимых параметров будущего изделия, их сравнении с плановыми параметрами технического задания и с параметрами конкурирующих изделий.

Выбор направления исследований целесообразно проводить с помощью методов индивидуальной и коллективной экспертизы, так как они наиболее уместны в случае пока еще слабо формализованной задачи принятия решений.

Желательно проведение предварительной оценки будущей экономической эффективности новой продукции. Чем более точной будет эта оценка, тем ниже будут необоснованные затраты и убытки. На данном этапе, так же как и на последующих, лучше всего придерживаться следующего правила: лучше два раза заплатить за проведение одного и того же этапа научных исследований, чем потом платить за повторное проведение последующих этапов и конструкторских разработок. Это обусловлено тем, что каждый последующий этап инновационного проекта является более затратоемким. Практика показывает, что в среднестатистическом инновационном проекте на научные исследования приходится 5 - 10% бюджета проекта, на опытно-конструкторские работы - 25 - 30%, на подготовку производства - вся остальная часть бюджета.

При обосновании выбора основного направления исследований возможна разработка общей методики проведения дальнейших исследований.

III. Теоретические и экспериментальные исследования.

Теоретические исследования начинаются с разработки рабочих гипотез и построения для каждой из них модели. Это необходимо для формализации всех вариантов разработки. Формализация в дальнейшем облегчит выбор оптимальной рабочей гипотезы.

При разработке гипотез также формулируются необходимые ограничения и допущения, налагаемые на модели, проводится моделирование с помощью разработанных моделей.

В ходе теоретических исследований возникает необходимость экспериментального подтверждения наиболее значимых результатов, полученных с помощью абстрактных теоретических моделей. Для проведения экспериментов требуется разработка методики эмпирических исследований, которая нужна для ответа на возникающие вопросы. К тому же проведение экспериментов - это, как правило, намного более дорогостоящее мероприятие по сравнению с теоретическими исследованиями. Успешное проведение экспериментов избавит организацию от необходимости их повторения.

Для проведения экспериментов должны быть подготовлены физические модели изделий, макеты или образцы.

Для объективной оценки результатов экспериментов, правильно отображающей существующую реальность, обычно применяются статистические методы. Их выбор и обоснование является частью разработки методики экспериментов. В последнее время широко используются современные информационные технологии и сложные кибернетические модели (нейронные сети, нечеткие множества и др.) для обработки результатов эксперимента.

Далее результаты эксперимента сопоставляются с предположениями, сформулированными в ходе теоретических исследований. При этом данные предположения подтверждаются или опровергаются. Проводится окончательный выбор рабочей гипотезы.

В случае необходимости теоретические модели объекта разработки корректируются.

Завершается этот этап проведением более детальных, чем на предыдущем этапе, технико-экономических исследований, в ходе которых определяется целесообразность дальнейших исследований и конструирования, а также предполагаемая рентабельность инвестиций в этот инновационный проект.

IV. Обобщение и оценка результатов исследований.

Этот этап предполагает проведение сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований с параметрами, которые содержатся в техническом задании на НИР. При этом оцениваются полнота решения задач, необходимость дополнительных прикладных научных исследований. Разрабатываются рекомендации по дальнейшим научным исследованиям и опытно-конструкторской работе (ОКР), разрабатывается проект технических требований (ТТ) на ОКР. Наконец, составляется итоговый отчет, который также регламентирован ГОСТом. Проводится сдача НИР заказчику.

После рассмотрения общих этапов научных исследований необходимо понять метод проектирования информационных потоков.

В информационном менеджменте самое широкое применение при проектировании совокупности информационных потоков получила методология реинжиниринга бизнес-процессов, являющаяся неотъемлемой частью процессного подхода в теории менеджмента. В рамках реинжиниринга бизнес-процессов используется ряд стандартов, позволяющих детально описывать происходящие на конкретном предприятии бизнес-процессы, исследовать их с помощью определенных критериев и разрабатывать мероприятия по реструктуризации бизнес-процессов.

Основой для стандарта, который используется при моделировании бизнес-процессов и проектировании информационных потоков, необходимых для их реализации, является методология функционального моделирования IDEF0 (SADT).

Методология функционального моделирования IDEF0 - это технология описания системы в целом как множества взаимозависимых действий или функций. IDEF0-функции системы исследуются независимо от объектов, которые обеспечивают их выполнение. Методология IDEF0 используется на ранних этапах разработки проекта. Далее следует IDEF3-моделирование, а затем построение диаграмм потоков данных (DFD).

Этапы IDEF0-моделирования следующие.

1. Подготовительный этап:

1.1. Описание исследуемого объекта: миссия, система целей (целевая картина), состав структурных элементов, состав функций;

1.2. Определение назначения, цели моделирования (получение ответов на совокупность вопросов, связанных с функционированием системы);

1.3. Определение «точки зрения» (целевой аудитории) и границ моделирования (обозначение широты охвата предметной области и глубины детализации, для чего необходимо четко определить контекстную диаграмму).

2. Построение модели:

2.1. Составление списка функций и их агрегирование в виде дерева функций (агрегирование - разделение на основные, обеспечивающие и обслуживающие функции):

- основные функции - функции, прямо связанные с выполнением целей организации, которые, с точки зрения потребителя, обеспечивают конкурентоспособность компании;
- функции обеспечения - функции, необходимые для реализации основных функций;

- функции обслуживания - функции, не оказывающие прямого влияния на основной процесс, но создающие благоприятные условия для существования организации в целом (администрирование, финансовое и социальное обеспечение, обеспечение кадрами, хозяйственный отдел и др.);

2.2. Составление списка данных (поток данных: ресурсы, информация и др.);

2.3. Построение IDEF0-диаграммы (SADT-диаграммы): расположение блоков в соответствии с их доминированием (влиянием одного блока на другие), изображение дуг (стрелок);

2.4. Проверка адекватности построенной диаграммы поставленным целям.

Поскольку модели IDEF0 моделируют систему как множество иерархически вложенных функций (причем не «сверху-вниз», а «снаружи-внутри»), в первую очередь должна быть определена функция, описывающая систему в целом, - контекстная функция. Названия функций подбираются с использованием глаголов или отглагольных существительных.

Количество блоков в диаграмме не должно быть меньше трех и больше шести. Эти ограничения поддерживают сложность диаграмм и моделей на уровне, доступном для понимания и достаточном для адекватного описания системы.

Дуги на IDEF0-диаграммах отображают интерфейсы между функциями системы, а также между системой и окружающей средой. Дуги несут информацию об одном или нескольких объектах, они могут иметь несколько начальных точек (источников) и конечных точек (назначений). Разветвления дуг означают, что все содержимое или его часть может появиться в каждом ответвлении дуги. В этом случае дуга помечается до разветвления, чтобы дать название всему набору. В случае слияния дуг результирующая дуга всегда помечается для указания нового набора объектов, возникшего после объединения. Исходная и разьединенные (объединенные) стрелки в совокупности называются связанными. Если одна из стрелок диаграммы отсутствует на родительской диаграмме (несущественная) и не связана с другими стрелками той же диаграммы, точка входа или выхода этой стрелки на диаграмме обозначается «туннелем» [[]]. Кроме того, туннели используются для отображения ситуации, когда стрелка, присутствующая на родительской диаграмме, отсутствует на диаграмме декомпозиции соответствующего блока (рис.1.1).

Для типизации категорий информации на IDEF0-диаграммах используется аббревиатура «ICOM», обозначающая четыре возможных типа дуг (стрелок):

I (Input) - вход - то, что потребляется в ходе выполнения процесса (сырье, информация). Наличие входных стрелок необязательно (принятие решения руководством, где анализируется несколько факторов, но ни один из них не преобразуется);

C (Control) - управление - правила, законы, стандарты, ограничения и инструкции, влияющие на ход выполнения процесса (процесса регулирования и контроля); каждый функциональный блок должен иметь как минимум одну дугу управления (управление можно рассматривать как особый вариант входа);

O (Output) - выход - то, что является результатом выполнения процесса (продукция, информация); каждый функциональный блок должен иметь как минимум один выход;

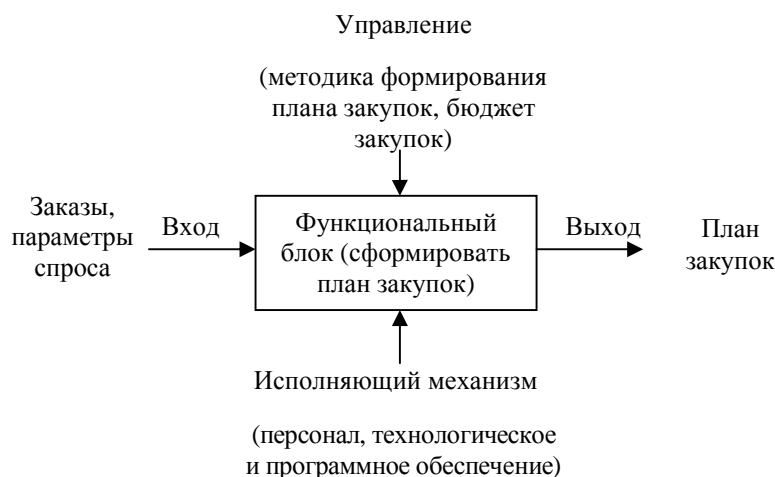


Рис.1.1. IDEF0-диаграмма функционального блока

M (Mechanism) - исполняющий механизм - то, что используется для выполнения процесса, но остается неизменным, т.е. ресурс, который непосредственно исполняет моделируемое явление (персонал, техника, оборудование, ИС и др.).

Варианты соединений с помощью дуг:

- выход - вход (один из блоков должен полностью завершить работу перед началом работы другого блока);
- выход - управление (преобладание одного блока над другим, управление работой другого блока);

- выход - исполняющий механизм (выход одного блока применяется в качестве инструментария для работы другого блока);
- выход - обратная связь на управление (зависимые блоки формируют обратные связи для управляющих ими блоков, например, корректировка стратегии по результатам);
- выход - обратная связь на вход (описание циклов повторной обработки).

Стрелки IDEF0-диаграмм целесообразно проектировать в следующем порядке: выход, вход, исполняющий механизм, управление. Желательно провести анализ модели на предмет предвидения всех возможных сценариев поведения процесса (вероятность возникновения той или иной ситуации). Негативные результаты часто используются в качестве обратных связей.

Все функциональные блоки нумеруются. Контекстный блок всегда имеет номер A0.

Номера используются для указания уровня декомпозиции, на котором находится блок. Блок A0 декомпозируется в блоки A1, A2, A3 и т.д.

Случаи, когда входящие и исходящие стрелки называются одинаково, указывают на бесполезность данного блока для системы в целом, но бывают исключения (вход: данные предварительного анализа предприятия - выход: данные уточненного анализа предприятия).

Функциональный блок декомпозируется, если необходимо детально описать его работу. При построении декомпозиции первого уровня нужно следить за тем, чтобы все блоки на диаграмме находились внутри определенных ранее границ моделирования. На концах граничных стрелок (начинающихся и заканчивающихся за пределами диаграммы) диаграмм помещаются коды ICOM, чтобы показать, где находится соответствующая стрелка на родительской (контекстной) диаграмме.

Когда на определенном этапе декомпозиции модели становится возможным получение ответов на целевые вопросы моделирования, модель считается завершенной, и дальнейшая декомпозиция не нужна. При необходимости дальнейшей детализации отдельных процессов или построения всех возможных альтернативных алгоритмов выполнения этих процессов могут быть использованы диаграммы IDEF3.

В дополнение к контекстным диаграммам и диаграммам декомпозиции могут применяться и другие виды IDEF-диаграмм: дерево модели - обзорная диаграмма, показывающая структуру всей модели; вершина дерева - контекстный блок, и далее блоки отображаются в соответствии с иерархией декомпозиции.

Кроме того, существуют презентационные диаграммы - For exposition only diagrams (FEO-диаграммы). Особенности их построения выходят за рамки традиционного синтаксиса IDEF0 в пользу наглядности.

Задания

1. Сформулировать тему, назначение и цель научных исследований, планирование которых будет осуществляться.
2. На основе общей последовательности проведения научных исследований сформулировать названия этапов планируемой НИР в системе IDEF0.
3. Детализировать каждый этап, представив его в виде совокупности блоков конкретных мероприятий в рамках IDEF-диаграмм.
4. Сформулировать виды информации, используемые на каждом этапе НИР, и виды информации (документов), являющиеся результатами выполнения данного этапа.
5. Построить SADT-диаграмму с помощью алгоритма, описанного в теоретическом материале.

Контрольные вопросы

1. Привести перечень основных этапов проведения научно-исследовательской работы.
2. Что является основной задачей при разработке технического задания на научно-исследовательскую работу?
3. Какие виды работ осуществляются при выборе направления исследований?
4. Какие методы обычно используются для объективной оценки результатов экспериментов?
5. Какая методология наиболее часто используется для проектирования информационных потоков на предприятии?
6. Назвать этапы IDEF0-моделирования.
7. Назвать правила построения IDEF0-диаграмм.

2. Планирование затрат в период освоения выпуска новой продукции

Цель занятия: 1) закрепить теоретический материал по организационной подготовке производства новых изделий с использованием метода кривых освоения; 2) научиться рассчитывать экономический эффект от повышения качества реализации процесса освоения; 3) изучить динамику трудоемкости и себестоимости в период освоения выпуска новой продукции.

Основные теоретические положения

Фактические затраты, например, времени на освоение отдельной операции являются результатом воздействия как систематических факторов (обучение, внедрение новой техники), так и субъективных факторов (физическое и психологическое состояние работника, помехи, неполадки оборудования). Поэтому трудовые затраты по-разному изменяются при повторении выполняемых операций работниками одинаковой квалификации.

В период освоения новой продукции между величиной затрат на производство одного изделия и количеством повторений процесса его изготовления (или порядковым номером выпущенного изделия, или номером партии изделий) существует корреляционная зависимость, имеющая вид степенной функции:

$$y_i = a \cdot x^{-b}, \quad (2.1)$$

где y_i - затраты (трудоемкость, материалоемкость, себестоимость) на изготовление i -й единицы изделия; a - затраты на производство первой единицы изделия; x - порядковый номер изготовленного с начала освоения изделия (или партии); b - показатель, характеризующий крутизну кривой освоения (показатель крутизны).

Эту зависимость установил американский инженер Т. Райт в 1936 г. на примере производства новых самолетов.

Кривая, построенная на основе указанной зависимости и описывающая характер изменения перечисленных видов затрат в период отработки технологии и развертывания выпуска новых изделий, носит название *кривой освоения*.

Сущность выявленной зависимости состоит в том, что при каждом удвоении выпуска продукции в период освоения трудоемкость уменьшается на величину коэффициента освоения K_{oc} от достигнутой трудоемкости.

Процесс освоения считается законченным, когда трудоемкость или затраты иных ресурсов становятся стабильными и дальнейшее снижение их незначительно. Обычно это свидетельствует о достижении установленной технически обоснованной нормы выработки на первый год выпуска. В этом случае касательная к кривой в конце периода освоения должна иметь наклон $tg = -0,02$.

В период освоения исследуемые затраты (трудоемкость, материалоемкость, себестоимость) включают как технически необходимые (обоснованные) суммарные τ_{Σ_1} затраты, так и дополнительные τ_{Σ_2} затраты производства, обусловленные спецификой процесса освоения и уровнем его организации.

Очевидно, что усилия при организации и планировании процесса освоения должны быть направлены на снижение дополнительных τ_{Σ_2} затрат производства. Чем больше показатель b кривой освоения, тем больше суммарные дополнительные затраты в период освоения.

Кроме показателя b кривую освоения можно охарактеризовать через коэффициент освоения K_{oc} (в относительных единицах или процентах), который показывает уменьшение величины, например, трудоемкости τ_2 при каждом удвоении количества выпущенных партий (или изделий), т.е. при $x_2 = 2x_1$, по сравнению с трудоемкостью τ_1 при количестве x_1 .

Величина K_{oc} определяется из отношения

$$K_{oc} = 2^{-b}.$$

Если коэффициент освоения выражается в процентах, то

$$K_{oc} = 2^{-b} \cdot 100\%.$$

С помощью кривых освоения можно представить динамику затрат на единицу изделия как для всего технологического процесса, так и для отдельных стадий процесса или технологических операций. Такие кривые освоения называют интегрированными, постадийными, операционными соответственно.

Правильная организация подготовки и проведения освоения приводит к значительной экономии затрат. Достижимый эффект можно условно разделить на два вида - прямой и косвенный.

Прямой эффект обусловлен меньшим уровнем начальной трудоемкости, себестоимости и более высокой степенью качества воспроизведения технологии с начала освоения. В связи с этим в более короткий срок достигаются заданные технико-экономические показатели производства. Результатом проведения освоения с высокими характеристиками является увеличение выпуска изделий в этот период за счет более эффективного использования основных средств. Следует также учитывать, что количественные потери в выпуске изделий из-за низкого организационно-технического уровня проведения процесса освоения приводят к увеличению условно-постоянных расходов, приходящихся на одно изделие.

Проведение процесса освоения с высокими характеристиками способствует значительному сокращению потерь и перерасходов всех видов ресурсов. Для плохо организованного процесса освоения характерно появление непредвиденных расходов и нерациональных потерь производства.

Косвенный эффект достигается:

- отработанностью конструкторско-технологической документации;
- упорядочением организации проведения освоения;
- улучшением использования производственных фондов;
- повышением ритмичности производства;
- упорядочением нормативной базы.

Схема расчета экономического эффекта от повышения качества освоения:

1) определяется типичная для данных производственных условий характеристика кривой освоения и задается коэффициент освоения $K_{ос}$;

2) рассчитывается проектная нормированная трудоемкость (или себестоимость) нового изделия, которая должна быть достигнута к концу периода освоения;

3) из опыта освоения других изделий и по результатам моделирования с учетом серийности выпуска укрупненно определяется порядковый номер изделия (партии) или объем выпуска в период освоения x_k , при котором освоение можно считать завершенным;

4) прогнозируется возможное сокращение цикла подготовки, а также повышение качества подготовки (в частности, такого показателя качества разрабатываемой технической документации, как объем вносимых в нее изменений) и уровня готовности основных средств;

5) на основе анализа данных п. 4 прогнозируется величина нового коэффициента освоения;

6) строятся графики снижения трудоемкости, суммарного выпуска, изменения переменных и условно-постоянных затрат, а также себестоимости в целом для двух кривых освоения: с характеристикой, соответствующей прошлому опыту освоения, и с прогнозируемой характеристикой;

7) по разности площадей между кривыми снижения себестоимости находится пропорциональная этой разности площадей экономия затрат.

Для оценки эффекта от реализации процесса освоения прежде всего определяются суммарные затраты в период освоения (трудовые или текущие издержки производства). Для этой цели рассчитываются площади, описываемые планируемой и фактической кривыми освоения.

Так как аппроксимирующая функция $y = a \cdot x^{-b}$, то искомые суммарные затраты можно определить путем интегрирования:

$$Y_{\Sigma} = a \int_1^x x^{-b} \cdot dx, \quad (2.2)$$

откуда

$$Y_{\Sigma} = \frac{a}{1-b} [x^{1-b} - 1^{1-b}]. \quad (2.3)$$

Выражение (2.3) адекватно определяет суммарные затраты при условии, что известна величина удельных затрат (трудоемкость, материалоемкость) выпуска первого изделия. Однако это возможно лишь при освоении крупных изделий (самолеты, станки), т.е. в единичном мелкосерийном производстве. При освоении партиями и при выпуске больших объемов (тыс. шт.), что характерно для микро- и нанoeлектроники, выявленные закономерности (2.1) - (2.3) требуют модернизации.

По методике Ю.П. Анискина в качестве исходных данных принимаются проектные величины трудоемкости, материалоемкости, выхода годной продукции, которые закладываются в технических условиях и требованиях. Расчет динамики изменения удельных показателей при этом начинается с конечной (а не начальной) величины. В этом случае искомая величина определяется как

$$Y_i = Y_k \left(\frac{N_i}{N_k} \right)^{-b}, \quad (2.4)$$

где Y_k - конечная (проектная) удельная величина затрат (трудоемкости, себестоимости) для периода освоения; N_k , N_i - соответственно плановый объем выпуска продукции в период освоения и промежуточные значения.

Используя выражение (2.4) можно определить динамику изменения удельного показателя от конечной до первой партии изделий.

Для определения суммарных (объемных) затрат выражение (2.4) интегрируется по N

$$Y_\Sigma = Y_k \int_{N_1}^{N_i} \left(\frac{N_i}{N_k} \right)^{-b} dN, \quad (2.5)$$

и определяется сумма

$$Y_\Sigma = \frac{Y_k^b \cdot N_k^b}{1-b} (N_k^{1-b} - N_1^{1-b}). \quad (2.6)$$

Эффект при сравнении проведения освоения по различным кривым будет определяться как

$$\Theta_{oc} = (Y_{\Sigma_1} - Y_{\Sigma_2}) - E_n \Delta K,$$

где Θ_{oc} - эффект от повышения качества освоения; Y_{Σ_1} , Y_{Σ_2} - текущие затраты в период освоения для сравниваемых кривых освоения; E_n - нормативный коэффициент эффективности (принимается $E_n = 0,15$); ΔK - дополнительные капитальные вложения, необходимые для более качественной отработки технологии на стадии НИОКР и при серийном освоении.

Если сравниваются кривые изменения трудоемкости, то сначала рассчитывается разница между суммарными трудовыми затратами, а затем определяется возможный дополнительный выпуск изделий в натуральном и стоимостном выражении.

Примеры решения типовых задач

Задача 1 (для ЭТМО). Развертывание производства новой вакуумной установки планируется провести по кривой освоения с характеристиками $K_{oc_{пл}} = 0,8$; $b_{пл} = 0,32$. Начальный уровень себестоимости изделия планируется $S_{0_{пл}} = 10$ тыс. руб./шт. Заканчиваться период освоения должен выпуском 32-го комплекта изделия N .

В процессе освоения фактическая себестоимость при выпуске 16-го изделия $S_{k/2}$ составила 4 тыс. 720 руб., а при выпуске 32-го комплекта достигнута конечная планируемая себестоимость.

Определить:

- 1) конечную планируемую величину себестоимости в период освоения;
- 2) характеристики фактической кривой освоения;
- 3) начальную фактическую величину себестоимости $S_{0_{ф}}$ от начала освоения;
- 4) суммарные планируемые текущие затраты на выпуск новых изделий в период освоения;
- 5) суммарные фактические текущие затраты на выпуск новых изделий в период освоения;
- 6) относительную и абсолютную величины материальных потерь из-за отклонения фактических затрат от планируемых.

Решение.

1. Конечная планируемая величина себестоимости в период освоения:

$$S_{k_{пл}} = S_{0_{пл}} \cdot N^{-b_{пл}} = 10 \text{ тыс. руб.} \cdot 32 \text{ шт.}^{-0,32} = 10 \cdot 0,33 = 3,3 \text{ тыс. руб./шт.}$$

2. Характеристики фактической кривой освоения:

$$K_{oc} = \frac{S_k}{S_{k/2}}; K_{oc} = 2^{-b}, b = -\frac{\lg K_{oc}}{\lg 2};$$

$$K_{oc} = \frac{S_{32}}{S_{16}} = \frac{3,3}{4,7} = 0,699 = 0,7 ;$$

$$\Delta\tau = \tau_{\Sigma_{пл}} - \tau_{\Sigma_{ф}} = 2254 - 2022 = 232 .$$

3. Начальная фактическая себестоимость в период освоения:

$$S_k = S_{0_{ф}} \cdot N^{-b_{ф}} ,$$

откуда

$$S_{0_{ф}} = \frac{S_{32}}{N^{-b_{ф}}} = \frac{3300}{32^{-0,514}} = \frac{3300}{0,168} = 19643 \text{ руб./шт.} = 19,64 \text{ тыс. руб.}$$

4. Суммарные планируемые текущие затраты:

$$S_{\Sigma_{пл}} = S_{0_{пл}} \cdot \frac{N^{1-b_{пл}} - 1}{1-b_{пл}} ;$$

$$S_{\Sigma_{пл}} = 10 \cdot \frac{32^{0,68} - 1}{1-0,32} = 10 \cdot \frac{10,556 - 1}{0,68} = 10 \cdot 14,05 = 140,5 \text{ тыс. руб.}$$

5. Суммарные фактические текущие затраты:

$$S_{\Sigma_{ф}} = 19,6 \cdot \frac{32^{0,486} - 1}{0,486} = \frac{5,46 - 1}{0,486} \cdot 19,64 = 9,176 \cdot 19,64 = 179,85 \text{ тыс. руб.}$$

6. Абсолютные и относительные отклонения от планируемых величин:

$$\Delta S = 179,85 - 140,5 = 39,35 \text{ тыс. руб.};$$

$$\delta = \frac{179,85}{140,5} = 1,28 \text{ раза , или } \delta = \frac{\Delta S}{S_{\Sigma_{пл}}} = \frac{39,35}{140,5} = 0,28 , \text{ или } \delta = 0,28 \cdot 100\% = 28\% .$$

Задача 2 (для ЭТМО). Планируется организовать производство новых пластин большого диаметра со скрытым эпитаксиальным слоем по кривой освоения с характеристиками $K_{oc_{пл}} = 0,75$, $b_{пл} = 415$. Начальная себестоимость пластины планируется равной $S_{0_{пл}} = 950$ руб. шт. Период освоения заканчивается выпуском 32-й партии пластин. Фактическая себестоимость пластины при изготовлении 16-й партии составила 322 руб. По окончании процесса освоения достигнута конечная планируемая себестоимость пластины $S_{к_{пл}}$. Размер партии $n = 20$ пластин.

Определить:

- 1) конечную планируемую величину себестоимости в период освоения;
- 2) характеристики фактической кривой освоения;
- 3) начальную фактическую величину себестоимости $S_{0_{ф}}$ от начала освоения.
- 4) суммарные планируемые текущие затраты на выпуск новых изделий в период освоения;
- 5) суммарные фактические текущие затраты на выпуск новых изделий в период освоения;
- 6) относительную и абсолютную величины материальных потерь из-за отклонения затрат от планируемых.

Решение.

1. Конечная планируемая себестоимость в период освоения:

$$S_{к_{пл}} = S_{0_{пл}} \cdot N^{-b_{пл}} = 950 \cdot 0,237 = 225,4 \text{ руб./пл.}$$

2. Характеристики фактической кривой освоения:

$$K_{oc} = \frac{S_{32}}{S_{16}} = \frac{225,4}{322,0} = 0,7 ;$$

$$b = -\frac{\lg K_{oc}}{\lg 2} = \frac{0,154}{0,301} = 0,514 .$$

3. Начальная фактическая себестоимость:

$$S_{0\phi} = \frac{S_K}{N_K^{-b_\phi}} = \frac{225,4}{32^{-0,514}} = \frac{225,4}{0,168} = 1342 \text{ руб./шт.}$$

4. Суммарные планируемые текущие затраты:

$$S_{\Sigma_{пл}} = \left(S_{0_{пл}} \cdot \frac{N^{1-b_{пл}} - 1}{1 - b_{пл}} \right) \cdot n = 950 \cdot 20 \cdot \frac{32^{0,585} - 1}{0,585} = 950 \cdot 20 \cdot \frac{6,59}{0,585} = 950 \cdot 20 \cdot 11,27 = 214130 \text{ руб./вып.}$$

5. Суммарные фактические текущие затраты:

$$S_{\Sigma_\phi} = \left(S_{0_\phi} \cdot \frac{N^{1-b_\phi} - 1}{1 - b_\phi} \right) \cdot n = \left(134,2 \cdot \frac{32^{0,585} - 1}{0,585} \right) \cdot 20 = 134,2 \cdot 20 \cdot \frac{4,4}{0,585} = 134,2 \cdot 20 \cdot 9,0 = 241400 \text{ руб./вып.}$$

6. Дополнительные абсолютные и относительные потери:

$$\Delta S_{\Pi} = S_{\Sigma_{пл}} - S_{\Sigma_\phi} = 214130 - 241400 = -27210 \text{ руб.};$$

$$\delta = \frac{\Delta S_{\Pi}}{S_{\Sigma_{пл}}} = \frac{-27210}{214130} = -0,127 \text{ или } -12,7\%.$$

Задача 3 (для ЭТМО). Планируемая кривая изменения трудоемкости изготовления пластин большого диаметра со скрытым эпитаксиальным слоем в период освоения характеризуется коэффициентами $K_{ос_{пл}} = 0,75$, $b_{пл} = 0,415$. При этом планируемая трудоемкость на начало освоения составила $\tau_{0_{пл}} = 90$ нормо-час/пл. Внесение дополнительных капитальных вложений на более тщательную отработку технологии в опытном производстве, а также на повышение степени организационной готовности серийного производства к освоению позволило осуществить процесс развертывания выпуска новой продукции по фактической кривой с коэффициентами $K_{ос_\phi} = 0,8$ и $b_\phi = 0,32$. Величина дополнительных капитальных вложений равна $\Delta K = 10000$ тыс. руб. Освоение заканчивается выпуском 32-й партии пластин, при этом достигается конечная планируемая трудоемкость $\tau_{к_{пл}}$. Условно-постоянные годовые расходы на выпуск новых пластин составили $C = 20000$ тыс. руб. Нормативный коэффициент эффективности $E_H = 0,15$. Размер партии $n = 20$ пластин.

Определить:

- 1) дополнительный объем продукции, выпущенной в период освоения;
- 2) экономию затрат и экономический эффект от совершенствования организации освоения.

Решение.

1. Конечная планируемая трудоемкость:

$$\tau_{к_{пл}} = \tau_{0_{пл}} \cdot N_K^{-b_{пл}} = 90 \cdot 32^{-0,415} = 90 \cdot 0,237 = 21,36 \text{ нормо-час/пл.}$$

2. Начальная фактическая трудоемкость:

$$\tau_{0_\phi} = \frac{\tau_{к_\phi}}{N_K^{-b_\phi}} = \frac{21,36}{32^{-0,32}} = \frac{21,36}{0,33} = 64,73 \text{ нормо-час/пл.}$$

3. Суммарная планируемая трудоемкость:

$$\tau_{\Sigma_{пл}} = \left(\tau_{0_{пл}} \cdot \frac{N^{1-b_{пл}} - 1}{1-b_{пл}} \right) \cdot n ;$$

$$\tau_{\Sigma_{пл}} = \left(90 \cdot \frac{32^{0,585} - 1}{0,585} \right) \cdot 20 = \left(90 \cdot \frac{6,59}{0,585} \right) \cdot 20 = 90 \cdot 11,26 \cdot 20 =$$

$$= 20277 \text{ нормо-час/вып.}$$

4. Суммарная фактическая трудоемкость:

$$\tau_{\Sigma_{\phi}} = \left(\tau_{0_{\phi}} \cdot \frac{N^{1-b_{\phi}} - 1}{1-b_{\phi}} \right) \cdot n = \left(64,73 \cdot \frac{32^{0,68} - 1}{0,68} \right) \cdot 20 =$$

$$= 18181 \text{ нормо-час/вып.}$$

5. Экономия трудовых ресурсов:

$$\Delta \tau = \tau_{\Sigma_{пл}} - \tau_{\Sigma_{\phi}} = 20277 - 18181 = 2096 \text{ нормо-час.}$$

6. Дополнительное количество выпущенных пластин:

$$\Delta N = \frac{\Delta \tau}{\tau_k} = \frac{2096}{21,36} = 98 \text{ пл.}$$

7. Экономия затрат от уменьшения доли условно-постоянных расходов на выпуск пластин в период освоения:

$$\mathfrak{E}_y = \left(\frac{C}{N_1} - \frac{C}{N_1 + \Delta N} \right) \cdot (N_1 + \Delta N) = \left(\frac{20000}{640} - \frac{20000}{640 + 98} \right) \cdot 738 =$$

$$= (31,25 - 27,1) \cdot 738 = 2952 \text{ тыс. руб.}$$

8. Экономический эффект от снижения условно-постоянных затрат:

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_y - E_H \cdot \Delta K = 2952 - 0,15 \cdot 10000 = 1452 \text{ тыс. руб./год.}$$

Задача 4 (для ЭТМО). Планируемая величина трудовых затрат на изготовление нового изделия на начало освоения составила $\tau_{0_{пл}} = 2000$ нормо-час/шт. Планируемая кривая изменения трудоемкости в период освоения характеризуется коэффициентами $K_{ос_{пл}} = 0,7$, $b_{пл} = 0,514$. Внесение дополнительных капитальных вложений на более тщательную отработку новой техники в опытном производстве и на повышение степени готовности производства к освоению позволило провести освоение, характеризуемое фактической кривой с коэффициентами $K_{ос_{\phi}} = 0,8$, $b_{\phi} = 0,32$. Дополнительные капитальные вложения составили $\Delta K = 500000$ руб. Освоение заканчивается выпуском 64-го изделия, когда достигается конечная планируемая трудоемкость $\tau_{к_{пл}}$. Условно-постоянные годовые расходы равны 2600000 руб., $E_H = 0,15$.

Определить:

- 1) экономический эффект от совершенствования организации освоения;
- 2) дополнительный объем продукции, выпущенной в период освоения.

Решение.

1. Конечная планируемая трудоемкость изделия:

$$\tau_{к_{пл}} = \tau_{0_{пл}} \cdot N_k^{-b_{пл}} = 2000 \cdot 64^{-0,514} = 2000 \cdot 0,118 = 235,3 \text{ нормо-час/изд.}$$

2. Начальная фактическая трудоемкость изделия:

$$\tau_{0_{\phi}} = \frac{\tau_{к_{\phi}}}{N_k^{-b_{\phi}}} = \frac{235,3}{64^{-0,32}} = \frac{235,3}{0,264} = 891 \text{ нормо-час/изд.}$$

3. Суммарные планируемые трудовые затраты на освоение:

$$\tau_{\Sigma_{пл}} = \tau_{0_{пл}} \cdot \frac{N^{1-b_{пл}} - 1}{1-b_{пл}} = 2000 \cdot \frac{64^{0,486} - 1}{0,486} = 2000 \cdot \frac{7,54 - 1}{0,486} =$$

$$= 2000 \cdot 13,47 = 26945 \text{ нормо-час/вып.}$$

4. Суммарные фактические трудовые затраты на освоение:

$$\tau_{\Sigma\phi} = 891 \cdot \frac{64^{0,68}}{0,68} = 891 \cdot \frac{16,9-1}{0,68} = 891 \cdot 23,4 = 20850 \text{ нормо-час.}$$

5. Экономия трудовых ресурсов:

$$\Delta\tau = \tau_{\Sigma\text{пл}} - \tau_{\Sigma\phi} = 26945 - 20850 = 6095 \text{ нормо-час.}$$

6. Дополнительный объем выпуска новой продукции:

$$\Delta N = \frac{\Delta\tau}{\tau_k} = \frac{6095}{235,3} = 26 \text{ шт.}$$

7. Условно-годовая экономия от уменьшения доли условно-постоянных расходов на единицу изделия:

$$\begin{aligned} \Theta_y &= \left(\frac{C}{N_1} - \frac{C}{N_1 + \Delta N} \right) \cdot (N_1 + \Delta N) = \left(\frac{2600000}{64} - \frac{2600000}{90} \right) \cdot 90 = \\ &= (4062 - 2888) \cdot 90 = 1174 \cdot 90 = 1056600 \text{ руб.} \end{aligned}$$

8. Годовой экономический эффект:

$$\Xi = \Theta_y - E_n \cdot \Delta K = 1056600 - 0,15 \cdot 500000 = 981600 \text{ руб./год.}$$

Задача 5 (для ЭКТ). Развертывание выпуска БИС ОЗУ на 1 кбит планируется произвести по кривой освоения с характеристиками $K_{\text{оспл}} = 0,80$ и $b_{\text{пл}} = 0,32$. Начальная планируемая себестоимость $S_{0\text{пл}} = 2480$ руб./шт. Заканчиваться период освоения должен выпуском 32-й партии изделий. Размер партии $n = 10$ шт.

В процессе освоения фактическая себестоимость при изготовлении 16-й партии составила 1090 руб./изд. По окончании процесса освоения достигается конечная планируемая себестоимость БИС ОЗУ $S_{\text{кпл}}$.

Определить:

- 1) конечную планируемую величину себестоимости в период освоения;
- 2) характеристики фактической кривой освоения;
- 3) начальную фактическую величину себестоимости $S_{0\phi}$ от начала освоения;
- 4) суммарные планируемые текущие затраты на выпуск новых изделий в период освоения;
- 5) суммарные фактические текущие затраты на выпуск новых изделий в период освоения;
- 6) относительную и абсолютную величины материальных потерь из-за отклонения фактических затрат от планируемых.

Решение.

1. Конечная планируемая себестоимость в период освоения

$$S_{\text{кпл}} = S_{0\text{пл}} \cdot N_k^{-b_{\text{пл}}} = 2480 \cdot 32^{-0,32} = 818 \text{ руб./шт.}$$

2. Характеристики фактической кривой освоения:

$$K_{\text{ос}} = \frac{S_{32}}{S_{16}} = \frac{818}{1090} = 0,75; \quad b = -\frac{\lg K_{\text{ос}}}{\lg 2} = \frac{0,124}{0,301} = 0,415.$$

3. Начальная фактическая себестоимость в период освоения:

$$S_{0\phi} = \frac{S_{\text{к}}}{N_k^{-b_{\phi}}} = \frac{818}{32^{-0,415}} = \frac{818}{0,237} = 3451 \text{ руб./шт.}$$

4. Суммарные планируемые текущие затраты:

$$S_{\Sigma_{пл}} = \left(S_{0_{пл}} \cdot \frac{N^{1-b_{пл}} - 1}{1-b_{пл}} \right) \cdot n;$$

$$S_{\Sigma_{пл}} = \left(2480 \cdot \frac{32^{0,68} - 1}{0,68} \right) \cdot 10 = \left(2480 \cdot \frac{10,55 - 1}{0,68} \right) \cdot 10 = 3482941 \text{ руб./вып.}$$

5. Суммарные фактические текущие затраты

$$S_{\Sigma_{ф}} = \left(S_{0_{ф}} \cdot \frac{N^{1-b_{ф}} - 1}{1-b_{ф}} \right) \cdot n = \left(3451 \cdot \frac{32^{0,585} - 1}{0,585} \right) \cdot 10 = 3887536 \text{ руб./вып.}$$

6. Дополнительные материальные потери:

$$\Delta S_{\Pi} = S_{\Sigma_{пл}} - S_{\Sigma_{ф}} = 3482941 - 3887536 = -404595 \text{ руб.};$$

$$\delta = \frac{\Delta S_{\Pi}}{S_{\Sigma_{пл}}} = \frac{-404595}{3482941} = -0,116 \text{ или } -11,6\%.$$

Задача 6 (для ЭКТ). Плановая величина трудовых затрат на изготовление новой логической ИС на начало освоения производства составила $\tau_{0_{пл}} = 200$ нормо-час/1000 шт. Планируемая кривая изменения трудоемкости изделия в период освоения характеризуется коэффициентами $K_{ос_{пл}} = 0,75$, $b_{пл} = 0,415$.

Внесение дополнительных капитальных затрат на организацию более тщательной отработки технологии в опытно-производстве и на повышение степени готовности серийного производства к освоению позволило провести развертывание выпуска новых изделий по фактической кривой с коэффициентами $K_{ос_{ф}} = 0,8$, $b_{ф} = 0,32$. Дополнительные капитальные вложения составили $\Delta K = 500000$ руб. Освоение заканчивается выпуском 32-й партии изделий ($N_{к} = 32$), когда достигается конечная планируемая трудоемкость $\tau_{к_{пл}}$. Условно-постоянные годовые расходы по выпуску данных приборов равны $C = 2600000$ руб./год. Коэффициент нормативной эффективности $E_{н} = 0,15$. Размер партии $n = 1000$ шт.

Определить:

- 1) дополнительный объем продукции, выпущенной в период освоения;
- 2) экономию затрат и экономический эффект от совершенствования организации освоения.

Решение.

1. Конечная планируемая трудоемкость:

$$\tau_{к_{пл}} = \tau_{0_{пл}} \cdot N_{к}^{-b_{пл}} = 200 \cdot 32^{-0,415} = 200 \cdot 0,237 =$$

$$= 47,46 \text{ нормо-час/100 шт.}$$

2. Начальная фактическая трудоемкость:

$$\tau_{0_{ф}} = \frac{\tau_{к}}{N_{к}^{-b_{ф}}} = \frac{47,46}{32^{-0,32}} = \frac{47,46}{0,33} = 144 \text{ нормо-час/1000 шт.}$$

3. Суммарные планируемые трудовые затраты на освоение:

$$\tau_{\Sigma_{пл}} = \tau_{0_{пл}} \cdot \left(\frac{N^{1-b_{пл}} - 1}{1-b_{пл}} \right);$$

$$\tau_{\Sigma_{пл}} = 200 \cdot \left(\frac{32^{0,585} - 1}{1-0,415} \right) = 200 \cdot \frac{7,59-1}{0,585} = 2254 \text{ нормо-час/вып.}$$

4. Суммарные фактические трудовые затраты на освоение:

$$\tau_{\Sigma_{\phi}} = \tau_{0_{\phi}} \cdot \left(\frac{N^{1-b_{\phi}} - 1}{1 - b_{\phi}} \right);$$

$$\tau_{\Sigma_{\phi}} = 144 \cdot \left(\frac{32^{0,68} - 1}{0,68} \right) = \frac{144 \cdot 9,55}{0,68} = 2022 \text{ нормо-час/вып.}$$

5. Экономия трудовых ресурсов:

$$\Delta\tau = \tau_{\Sigma_{\text{пл}}} - \tau_{\Sigma_{\phi}} = 2254 - 2022 = 232 \text{ нормо-час.}$$

6. Дополнительное количество изделий:

$$\Delta N = \frac{\Delta\tau}{\tau_k} = \frac{232 \cdot 1000}{47,46} = 4888 \text{ шт.}$$

7. Экономия в период освоения от уменьшения доли условно-постоянных расходов на единицу изделия:

$$\Theta_y = \left(\frac{C}{N_1} - \frac{C}{N_1 + \Delta N} \right) \cdot (N_1 + \Delta N);$$

$$\Theta_y = \left(\frac{2600000}{32 \cdot 1000} - \frac{2600000}{32000 + 4888} \right) \cdot (32000 + 4888) =$$

$$= (81,25 - 70,48) \cdot 36888 = 397280 \text{ руб.}$$

8. Экономический эффект:

$$\Xi = \Theta_y - E_n \cdot \Delta K = 397280 - 0,15 \cdot 500000 = 397280 - 75000 =$$

$$= 322280 \text{ руб./год.}$$

Задача 7 (для МП). Организация развертывания выпуска нового устройства на БИС планируется по кривой освоения с характеристиками $K_{\text{ос}_{\text{пл}}} = 0,75$, $b_{\text{пл}} = 0,415$. Начальная планируемая себестоимость устройства $S_{0_{\text{пл}}} = 50000$ руб./шт. Период освоения заканчивается выпуском 64-го изделия. Фактическая себестоимость при изготовлении 32-го изделия составила $S_{32_{\phi}} = 12710$ руб./шт. По окончании процесса освоения достигнута конечная планируемая себестоимость устройства $S_{\text{к}_{\text{пл}}}$.

Определить:

- 1) конечную планируемую себестоимость в период освоения;
- 2) характеристики фактической кривой освоения;
- 3) начальную фактическую себестоимость $S_{0_{\phi}}$ от начала освоения;
- 4) суммарные планируемые текущие затраты на выпуск новых изделий в период освоения;
- 5) суммарные фактические затраты на выпуск новых изделий в период освоения;
- 6) относительную и абсолютную величины материальных потерь из-за отклонения фактических затрат от планируемых.

Решение.

1. Конечная планируемая себестоимость в период освоения:

$$S_{\text{к}_{\text{пл}}} = S_{0_{\text{пл}}} \cdot N_k^{-b_{\text{пл}}} = 50000 \cdot 64^{0,415} = 50000 \cdot 0,178 = 8900 \text{ руб./шт.}$$

2. Характеристики фактической кривой освоения:

$$K_{\text{ос}} = \frac{S_{64}}{S_{32}} = \frac{8900}{12710} = 0,70;$$

$$b = -\frac{\lg K_{\text{ос}}}{\lg 2} = \frac{0,154}{0,301} = 0,514.$$

3. Фактическая себестоимость в начальный период освоения:

$$S_{0\phi} = \frac{S_{\kappa}}{N_{\kappa}^{-b_{\phi}}};$$

$$S_{0\phi} = \frac{8900}{64^{-0,514}} = \frac{8900}{0,118} = 75420 \text{ руб./шт.}$$

4. Суммарные планируемые текущие затраты:

$$S_{\Sigma_{\text{пл}}} = S_{0_{\text{пл}}} \cdot \frac{N^{1-b_{\text{пл}}} - 1}{1-b_{\text{пл}}};$$

$$S_{\Sigma_{\text{пл}}} = 50000 \cdot \frac{64^{0,585} - 1}{0,585} = 50000 \cdot \frac{10,39}{0,585} = 5000 \cdot 17,76 =$$

$$= 888030 \text{ руб./вып.}$$

5. Суммарные фактические затраты:

$$S_{\Sigma_{\phi}} = S_{0_{\phi}} \cdot \frac{N^{1-b_{\phi}} - 1}{1-b_{\phi}};$$

$$S_{\Sigma_{\phi}} = 75420 \cdot \frac{64^{0,486} - 1}{0,486} = 75420 \cdot \frac{6,54}{0,486} = 75420 \cdot 13,47 =$$

$$= 1016070 \text{ руб./вып.}$$

6. Дополнительные абсолютные и относительные материальные потери:

$$\Delta S = S_{\Sigma_{\text{пл}}} - S_{\Sigma_{\phi}} = 888030 - 1016070 = -128040 \text{ руб.};$$

$$\delta = \frac{\Delta S}{S_{\Sigma_{\text{пл}}}} = \frac{-128040}{888030} = -0,144 \text{ или } -14,4\%.$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1 (для МП). Планируемая кривая изменения трудоемкости БИС микропроцессора в период освоения характеризуется коэффициентами $K_{\text{ос}_{\text{пл}}} = 0,7$, $b_{\text{пл}} = 0,514$. При этом планируемая трудоемкость на начало освоения составила $\tau_{0_{\text{пл}}} = 1800$ нормо-час/шт. Внесение дополнительных капитальных затрат на более тщательную отработку технологии и конструкторской документации в опытном производстве, а также на организацию и повышение степени готовности серийного производства к освоению позволило осуществить процесс развертывания выпуска новой продукции по фактической кривой с коэффициентами $K_{\text{ос}_{\phi}} = 0,8$, $b_{\phi} = 0,32$. Дополнительные капитальные вложения $\Delta K = 400000$ руб. Освоение заканчивается выпуском 64-го изделия ($N_{\kappa} = 64$), при этом достигается конечная планируемая трудоемкость $\tau_{\kappa_{\text{пл}}}$. Условно-постоянные годовые расходы на выпуск изделия $C = 3000000$ руб. Нормативный коэффициент эффективности $E_{\text{н}} = 0,15$.

Определить:

- 1) дополнительный объем продукции, выпущенной в период освоения;
- 2) экономию затрат и экономический эффект от совершенствования организации освоения.

Задача 2. Определить суммарные дополнительные трудовые затраты в период освоения выпуска каждого из трех новых приборов. Исходные данные: показатель крутизны кривой освоения b равен: для первого прибора $b_1 = 0,514$; для второго прибора $b_2 = 0,32$; для третьего прибора $b_3 = 0,15$.

В период освоения выпущено по $N = 30$ партий каждого изделия. Конечная трудоемкость изделия для всех трех приборов одинаковая $\tau_k = 0,3$ нормо-час/изделие. Размер партии $n = 2000$ изделий.

Ответ: $\tau_{\Sigma_1} = 29957,4$ нормо-час/вып.; $\tau_{\Sigma_2} = 23908,3$ нормо-час/вып.; $\tau_{\Sigma_3} = 20013,7$ нормо-час/вып.

Задача 3. В цехе для развертывания выпуска новых приборов выделяют ежемесячно объем трудовых ресурсов, равный $\tau_{\Sigma_{мес}} = 4167$ нормо-час/мес. Технически обоснованная или конечная трудоемкость нового изделия в конце периода освоения равна $0,5$ нормо-час/изделие. Количество выпущенных партий изделия $N = 40$ шт., размер партии $n = 2000$ изделий.

Определить сроки освоения выпуска новых изделий для случаев, когда коэффициент кривой освоения $K_{ос} = 1; 0,9; 0,7$.

Ответ: 1) 9,6 мес.; 2) 11 мес.; 3) 16,5 мес.

Задача 4. Определить характеристики фактической кривой освоения (b и $K_{ос}$) при достигнутых показателях себестоимости изделия: начальной $S_0 = 15$ руб./шт. и конечной $S_k = 6$ руб./шт. Количество выпущенных партий $N = 30$.

Ответ: $b = 0,269$; $K_{ос} = 0,83$.

Контрольные вопросы

1. Назовите составляющие экономического эффекта от совершенствования организации процесса освоения выпуска новых изделий.
2. Как рассчитать экономический эффект от более качественной реализации процесса освоения?
3. Какова формула корреляционной зависимости трудоемкости изделия от порядкового номера изделия, изготовленного в период освоения?
4. Как рассчитать начальную трудоемкость изделия, зная планируемую конечную трудоемкость по окончании процесса освоения, при заданном количестве выпускаемых партий изделий и показателе крутизны кривой освоения?
5. Как определить коэффициент освоения, если известен показатель b ?
6. Каковы характеристики кривой освоения (b и $K_{ос}$), если трудоемкость изготовления 16-го изделия от начала освоения равна 100 нормо-часам, а 32-го изделия - 80 нормо-часам?
7. Как рассчитать суммарные текущие затраты на производство нового изделия на основе кривой изменения себестоимости в период освоения?
8. Какие факторы влияют на величину показателя b кривой освоения?

3. Определение эффекта от повышения качества и надежности технических систем

Цель занятия: 1) познакомиться с основными понятиями, характеризующими качество изделий в эксплуатации; 2) научиться пользоваться приемами оценки экономического эффекта от повышения надежности изделий; 3) закрепить знания по теории экономической эффективности при сопоставлении вариантов новой техники.

Основные теоретические положения

Надежность изделий является основной характеристикой качества продукции.

Надежность - свойство изделия выполнять заданные функции с сохранением его эксплуатационных показателей в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки.

Основные показатели надежности делятся на две группы:

- показатели, характеризующие надежность невосстанавливаемых изделий;
- показатели, характеризующие надежность восстанавливаемых изделий.

Невосстанавливаемыми называются изделия, которые в процессе выполнения своих функций не допускают ремонта (полупроводниковые приборы, интегральные схемы, резисторы и т.п.).

Восстанавливаемыми называются изделия, которые в процессе выполнения своих функций допускают ремонт (вычислительные системы, телевизоры и т.п.).

Показатели надежности невосстанавливаемых изделий следующие:

1) *вероятность безотказной работы* в течение определенного периода времени $p(t)$:

$$p(t) = p(T > t),$$

где t - время, в течение которого определяется вероятность безотказной работы; T - время работы (эксплуатации) изделия до первого отказа;

2) *вероятность отказа* $q(t)$:

$$q(t) = 1 - p(t);$$

3) *средняя наработка до первого отказа*, т.е. математическое ожидание времени работы изделия до отказа $T_{\text{ср}}$; по статистическим данным об отказах,

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0},$$

где t_i - время безотказной работы i -го изделия; N_0 - начальное число испытываемых (или эксплуатируемых) изделий;

4) *частота отказа* (плотность распределения) $\bar{a}(t)$ - отношение числа отказавших изделий в единицу времени к первоначальному числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия не восстанавливаются:

$$\bar{a}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad 1/\text{ч},$$

где $n(\Delta t)$ - число отказавших образцов в интервале от $t - \frac{\Delta t}{2}$ до $t + \frac{\Delta t}{2}$;

5) *интенсивность отказов* $\lambda(t)$ - отношение числа отказавших изделий в единицу времени $n(\Delta t)$ к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени $N_{\text{ср}} \Delta t$:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{ср}} \Delta t},$$

где $N_{\text{ср}} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$ - среднее число исправно работающих изделий в интервале Δt ; N_i, N_{i+1} - работоспособные изделия в начале и в конце интервала Δt соответственно.

Так как $\lambda(t)$ можно определить как

$$\lambda(t) = \frac{\bar{a}(t)}{p(t)},$$

то

$$\bar{a}(t) = \lambda(t) \cdot p(t).$$

Рассмотренные показатели надежности позволяют оценить надежность невосстанавливаемых изделий, но до первого отказа.

Наличие большого количества показателей не означает, что оценку надежности всегда надо проводить по всем показателям. Наиболее применимой характеристикой надежности простейших элементов является интенсивность отказов, а сложной системы - вероятность безотказной работы.

Показатели надежности восстанавливаемых изделий. Количественными характеристиками надежности могут быть параметры потока отказов и наработка на отказ.

Параметрами потока отказов $W(t)$ называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к числу работающих изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия заменяются исправными:

$$W(t) = n(\Delta t) / N\Delta t.$$

Наработка на отказ T_o - это среднее значение времени между соседними отказами:

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n},$$

где t_i - время исправной работы изделия между $i-1$ -м и i -м отказами, ч; n - число отказов.

Приведенные показатели надежности не учитывают времени, необходимого на восстановление изделия. При необходимости такого учета используют:

1) *коэффициент готовности K_r* , представляющий отношение времени исправной работы T_p к сумме времени исправной работы и времени вынужденных простоев системы T_{Π} в одинаковый период времени:

$$K_r = \frac{T_p}{T_p + T_{\Pi}};$$

2) *коэффициент вынужденного простоя K_{Π}* :

$$K_{\Pi} = \frac{T_{\Pi}}{T_p + T_{\Pi}}, \quad K_{\Pi} = 1 - K_r.$$

При простейшем потоке отказов можно принять

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + t_b},$$

где t_b - время восстановления отказавшей системы, ч.

При определении надежности технических устройств применяют различные законы распределения времени безотказной работы - экспоненциальный, усеченный нормальный, закон Гамма, Вейбулла и др.

В случае экспоненциального закона распределения отказов (как наиболее частого)

$$p = e^{-\lambda t}, \quad \lambda - \text{const};$$

$$T_o = \frac{1}{\lambda}; \quad \bar{a} = \lambda \cdot e^{\lambda t}.$$

Результирующим показателем мероприятий по повышению надежности является количество возможных отказов аппаратуры или прибора n в заданный период эксплуатации $T_{\text{экс}}$:

$$n = \lambda \cdot T_{\text{экс}} = \frac{T_{\text{экс}}}{T_o}.$$

Уменьшение количества отказов устройства - главное условие для оценки экономического эффекта от повышения надежности.

По результатам сравнительного анализа новой техники с базовым вариантом выявляются отличия по параметрам надежности. Далее определяются составляющие эффекта от повышения надежности (или снижения количества отказов), основными из которых являются:

- уменьшение объема выпуска (или использования) запасных частей (комплектующих изделий);
- снижение затрат на восстановление работоспособности технических систем после отказов;

- сокращение материальных потерь производства при использовании высоконадежной техники;
- уменьшение времени незапланированного простоя оборудования из-за отказов.

Необходимо, однако, учитывать, что повышение надежности изделий требует существенных затрат в проектировании и производстве, обусловленных: введением дополнительного объема испытаний и более жестких требований к исходному материалу, а также к производственному процессу; установлением прецизионного оборудования и т.п. Это все приводит к дополнительным капитальным (единовременным) затратам и увеличению текущих затрат производства, а следовательно, стоимости изготовления изделия.

Очевидно, что оптимальный уровень надежности приборов по экономическим критериям должен соответствовать минимуму суммы приведенных затрат в сфере производства и эксплуатации высоконадежных изделий:

$$R = R_{\text{пр}} + R_{\text{экс}} \rightarrow \min .$$

Экономический эффект от повышения надежности изделия \mathcal{E}_n представляет собой разность суммарных приведенных затрат базового и разрабатываемого (нового) приборов:

$$\mathcal{E}_n = R_0 - R_n .$$

Приведенные затраты в сфере производства представляют собой сумму текущих затрат S на выпуск годового объема изделий (себестоимость выпуска) и умноженных на нормативный коэффициент эффективности E_n дополнительных единовременных (капитальных) затрат $K_{\text{пн}}$, связанных с реализацией мероприятий по повышению надежности:

$$R_{\text{пр}} = S + E_n K_{\text{пн}} .$$

Приведенные затраты в сфере эксплуатации определяются аналогично:

$$R_{\text{экс}} = S_{\text{экс}} + E_n K_c ,$$

где $S_{\text{экс}}$ - годовые эксплуатационные расходы, руб./год; K_c - сопутствующие единовременные (капитальные) затраты при эксплуатации высоконадежных изделий, руб.

Расчет эксплуатационных расходов требует некоторых методических пояснений.

В процессе эксплуатации отказ технической системы приводит к двум видам ресурсных затрат: первый вид - затраты на восстановление работоспособности отказавшей системы S_{B_i} ; второй вид - материальный ущерб (или потери) от вынужденного простоя системы $S_{\text{му}_i}$.

Для удобства оценки экономического эффекта от повышения надежности можно принять, что эксплуатационные расходы представляют собой сумму годовых затрат на восстановление работоспособности системы и размера материального ущерба, вызванного отказом устройства:

$$S_{\text{экс}} = S_B + S_{\text{му}} .$$

Годовые затраты на восстановление отказавшей системы из-за отказа i -го вида комплектующих изделий определяются по формуле

$$S_B = \bar{S}_0 \cdot q \cdot N_{\text{вып}} , \text{ руб./год,}$$

где \bar{S}_0 - средние затраты на восстановление отказавшего устройства, руб./отк.; $N_{\text{вып}}$ - годовой объем выпуска высоконадежных комплектующих приборов, шт./год; q - вероятность появления отказа в течение заданного годового режима времени эксплуатации T_p .

Для экспоненциального распределения отказов

$$q = 1 - p(t) = 1 - e^{-\lambda T_p} ,$$

Величина $q \cdot N_{\text{вып}}$ характеризует ожидаемое количество восполняемых изделий в период годовой эксплуатации.

Если рассматривать надежность технической системы в целом без учета надежности определенного комплектующего элемента, то годовые затраты на восстановление отказавшей технической системы определяются по формуле

$$S_B = \bar{S}_0 \cdot n,$$

где n - количество отказов в год; \bar{S}_0 - средние затраты на восстановление отказавшего устройства, руб./отк.,

$$\bar{S}_0 = \Pi_{\text{эл}} + \bar{l}_\text{ч} \cdot \bar{t}_\text{в} \cdot (1 + \frac{K_{\text{цр}}}{100}),$$

где $\Pi_{\text{эл}}$ - средняя стоимость (цена) замененного элемента, руб.; $\bar{l}_\text{ч}$ - средняя часовая заработная плата работника, устраняющего неисправность, руб./ч; $\bar{t}_\text{в}$ - среднее время восстановления системы, ч; $K_{\text{цр}}$ - процент косвенных цеховых расходов, включая дополнительную заработную плату и отчисления на социальное страхование, к сумме основной заработной платы рабочего, %.

Материальные потери (ущерб) зависят от области применения и характера неисправности технической системы. Рассмотрим, к примеру, несколько возможных вариантов.

А. Отказ технической системы (оборудование, измерительный комплекс, вычислительная система), которая используется в технологическом процессе, привел к приостановке выпуска продукции.

Материальный ущерб в этом случае определяется как сумма объема продукции в стоимостном выражении, который не выпущен данной технической системой из-за ее низкой надежности в плановый период $S_{\text{пр}}$, и объема потерь от возможного брака в каждый момент отказа системы $S_{\text{бр}}$:

$$S_{\text{му}} = S_{\text{пр}} + S_{\text{бр}};$$

$$S_{\text{пр}} = q_\text{ч} \cdot S_i \cdot T_\text{в},$$

где $q_\text{ч}$ - объем продукции, выпускаемой в единицу времени, шт./ч (или часовая производительность); S_i - себестоимость нарастающим итогом, т.е. затраты от начала технологического процесса по i -ю операцию включительно, которую выполняет техническая система; $T_\text{в}$ - время на восстановление работоспособности системы в течение года, ч/год, $T_\text{в} = \bar{t}_\text{в} \cdot n$.

Годовые потери от возможного брака продукции в момент отказа:

$$S_{\text{бр}} = k \cdot S_i \cdot n \cdot p_{\text{бр}}, \text{ руб./год};$$

где k - размер партии обрабатываемых изделий, шт.; $p_{\text{бр}}$ - вероятность появления брака в партии в момент отказа; n - количество отказов за годовой период.

Общие материальные потери по варианту А составят:

$$S_{\text{му}}^A = q_\text{ч} \cdot S_i \cdot T_\text{в} + k \cdot S_i \cdot n \cdot p_{\text{бр}}, \text{ руб./год.}$$

Б. Отказ системы автоматического контроля за непрерывным технологическим процессом может привести к браку продукции за период обнаружения и устранения неисправности.

Материальный ущерб за год определяется потерями от возможного брака продукции как:

$$S_{\text{му}}^B = q_\text{ч} \cdot n \cdot \bar{t}_\text{в} \cdot S_\text{к} \cdot p_{\text{бр}}, \text{ руб./год},$$

где $S_\text{к}$ - себестоимость изделия включительно по k -ю контрольную операцию, где обнаружен брак продукции, руб./шт.; $p_{\text{бр}}$ - вероятность появления брака после отказа системы контроля; $\bar{t}_\text{в}$ - среднее время восстановления отказа, ч.

В. Произошел отказ устройства в вычислительной системе, выполняющей расчеты.

Материальный ущерб определяется потерями от простоя системы и от восстановления информации:

$$S_{\text{му}}^B = \bar{S}_\text{ч} \cdot T_\text{в} + \bar{S}_\text{ин} \cdot n, \text{ руб./год},$$

где $\bar{S}_\text{ч}$ - средняя стоимость одного часа работы системы, руб./ч; $\bar{S}_\text{ин}$ - средние затраты на восстановление информации.

Г. Сбой в работе электронного устройства, выражающийся в пропадании нужного или образовании лишнего сигнала, привел к тому, что восстанавливается не устройство, а информация, искаженная сбоем.

Материальный ущерб при восстановлении информации равен

$$S_{\text{му}}^{\Gamma} = \bar{S}_{\text{ин}} \cdot n_{\text{сб}} \cdot \bar{t}_{\text{сб}},$$

где $\bar{S}_{\text{ин}}$ - средние затраты на восстановление информации после сбоя системы, руб./сб.; $n_{\text{сб}}$ - количество сбоев системы в период суммарной наработки за год, сб./год; $\bar{t}_{\text{сб}}$ - среднее время восстановления информации после сбоя (или отказа) системы, ч/сб.

Если сбой вызывает длительную остановку вычислительной системы ($\geq 0,5$ ч) и для восстановления ее работоспособности требуется вызов наладчика, ремонтника, то в этом случае дополнительно определяются материальные потери из-за простоя ЭВМ по этой причине (как в случае В) и затраты на восстановление отказавшей системы:

$$S_{\text{му}} = S_{\text{пр}} + S_{\text{вин}}.$$

Таким образом, при определении экономического эффекта от повышения надежности технических систем необходимо уже на стадии их разработки знать условия предстоящей эксплуатации, чтобы представлять характер возможных материальных потерь. Необходимо помнить, что материальные потери от низкой надежности установок, как правило, значительно больше, чем затраты на восстановление работоспособности системы, поэтому так важен их учет при оценке экономического эффекта.

Сравнительная оценка экономического эффекта от повышения качественных характеристик создаваемых изделий используется как для поиска оптимального уровня надежности проектируемых систем, так и для последующего их сравнения с базовыми системами.

Пример решения типовой задачи

Разрабатывается новая система автоматического контроля (САК) за непрерывным технологическим процессом. Анализируются три варианта разработки, обеспечивающие разные уровни надежности САК.

Определить экономически целесообразный вариант САК.

Исходные данные: годовой объем выпуска САК $N = 100$ шт.; режимное время работы системы за год $T_p = 8000$ ч/год; часовая производительность технологического комплекса $q_{\text{ч}} = 50$ шт./ч; себестоимость полупроводниковой пластины включительно по контрольную операцию, где обнаруживается брак, $S_k = 32$ руб./шт.; вероятность появления брака после отказа САК $p_{\text{бр}} = 0,6$; средние затраты на восстановление работоспособности САК после отказа $\bar{S}_o = 50$ руб./шт. отк.; коэффициент нормативной эффективности $E_n = 0,15$.

Сводные данные по вариантам разработки приведены в табл.3.1.

Таблица 3.1

Сводные данные по вариантам разработки

Вариант разработки	Интенсивность отказов, 1/ч	Капитальные затраты на разработку САК, тыс. руб.	Себестоимость изготовления САК, тыс. руб./шт.	Оптовая цена САК, тыс. руб./шт.	Среднее время восстановления САК после отказа, ч/шт. отк.
1	$1 \cdot 10^{-3}$	670	8,5	10	4
2	$0,5 \cdot 10^{-3}$	1300	10,3	16	3
3	$125 \cdot 10^{-4}$	2000	23,6	28	3

Решение. 1. Определяем единичные (удельные) приведенные затраты в сфере производства САК:

$$R_{\text{пр}i} = S_i + \frac{E_n \cdot K_{\text{пн}}}{N};$$

$$R_{\text{пр}1} = 8,5 + \frac{0,15 \cdot 670}{100} = 8,5 + 1 = 9,5 \text{ тыс. руб./шт.};$$

$$R_{\text{пр}2} = 10,3 + \frac{0,15 \cdot 1300}{100} = 10,3 + 1,95 = 12,25 \text{ тыс. руб./шт.};$$

$$R_{\text{пр}3} = 23,6 + \frac{0,15 \cdot 2000}{100} = 23,6 + 3 = 26,6 \text{ тыс. руб./шт.}$$

2. Определяем эксплуатационные расходы, включая материальные потери от отказов системы:

а) затраты на восстановление работоспособности системы за годовой период режимной работы $T_p = 8000$ ч/год.

$$n_{o1} = \lambda_1 \cdot T_p = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 8000 = 8 \text{ отк./год};$$

$$n_{o2} = \lambda_2 \cdot T_p = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 8000 = 4 \text{ отк./год};$$

$$n_{o3} = \lambda_3 \cdot T_p = 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 8000 = 1 \text{ отк./год};$$

$$S_{B1} = 50 \cdot 8 = 400 \text{ руб./шт. год};$$

$$S_{B2} = 50 \cdot 4 = 200 \text{ руб./шт. год};$$

$$S_{B3} = 50 \cdot 1 = 50 \text{ руб./шт. год};$$

б) материальные потери (ущерб) производства от возможного брака при отказе АСК:

$$S_{\text{м}y} = q_{\text{ч}} \cdot n \bar{t}_{\text{в}} \cdot S_{\text{к}} \cdot p_{\text{бр}};$$

$$S_{\text{м}y1} = 50 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 32 \cdot 0,6 = 30,72 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

$$S_{\text{м}y2} = 50 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 0,6 = 11,52 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

$$S_{\text{м}y3} = 50 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 0,6 = 2,88 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

в) эксплуатационные расходы по вариантам:

$$S_{\text{экс}i} = S_{B_i} + S_{\text{м}y_i};$$

$$S_{\text{экс}1} = 400 + 30,72 = 31,12 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

$$S_{\text{экс}2} = 200 + 11,52 = 11,72 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

$$S_{\text{экс}3} = 50 + 2,88 = 2,93 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

3. Определяем приведенные затраты на одну систему в сфере эксплуатации:

$$R_{\text{экс}1} = 31,12 + 0,15 \cdot 10 = 31,12 + 1,5 = 32,72 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

$$R_{\text{экс}2} = 11,72 + 0,15 \cdot 16 = 11,72 + 2,4 = 14,12 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

$$R_{\text{экс}3} = 2,93 + 0,15 \cdot 28 = 2,93 + 4,2 = 7,1 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

4. Определяем суммарные приведенные затраты в сферах производства и эксплуатации:

$$R_{\Sigma 1} = R_{\text{пр}1} + R_{\text{экс}1} = 9,5 + 32,72 = 42,22 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

$$R_{\Sigma 2} = 12,25 + 14,12 = 26,37 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

$$R_{\Sigma 3} = 26,6 + 7,1 = 33,7 \text{ тыс. руб./шт. год};$$

Экономически целесообразным является вариант 2, обеспечивающий надежность с интенсивностью отказов $\lambda_2 = 0,5 \cdot 10^{-3}$ 1/ч.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Годовые эксплуатационные затраты на восстановление работоспособности измерительного комплекса составляли $S_{\text{экс}1} = 2$ млн руб. Стоимость действующего комплекса - 10 млн руб. Период использования подобных комплексов - 5 лет. Разработанный новый комплекс с повышенной надежностью, характеризующийся меньшим числом отказов системы, стоит 12 млн руб. Годовые эксплуатационные издержки планируются на уровне 1,2 млн руб.

Определить годовой экономический эффект от использования более надежного измерительного комплекса.

Ответ: 0,4 млн руб./год.

Задача 2. Предприятию необходим стенд для технологических испытаний. Фирмы-изготовители предлагают на рынке оборудования три варианта стендов. Первый вариант: цена - 10 млн руб., годовые эксплуатационные издержки - 1,5 млн руб./год. Второй вариант: цена - 12 млн руб., годовые

эксплуатационные издержки - 0,9 млн руб./год. Третий вариант: цена - 14 млн руб., годовые эксплуатационные издержки - 1,2 млн руб./год.

Определить наиболее экономичный вариант приобретения испытательного стенда.

Ответ: второй вариант.

Задача 3. В процессе годовой эксплуатации технологического оборудования (например, вакуумной установки для напыления) происходит 10 отказов, время восстановления работоспособности системы после каждого отказа - 3 ч. Размер обрабатываемой партии - 60 пластин. Технологическая себестоимость (переменные затраты) на данную операцию включительно составляет 1000 руб./пл. На участке 10 единиц оборудования. Производительность установки - 60 пл./ч. В результате незначительной модернизации число отказов сократилось до 4-х в год на единицу оборудования.

Определить экономический эффект от повышения надежности оборудования и снижения материального ущерба.

Ответ: 1404 тыс. руб.

Задача 4. Технологическая установка в годовой период эксплуатации имеет 12 отказов. Материальный ущерб от каждого отказа - 2,4 млн руб. Стоимость модернизации установки с целью повышения надежности составила 70 млн руб. В результате модернизации количество отказов за год уменьшилось до 4-х.

Определить эффективность или рентабельность инвестиций на повышение надежности установки.

Ответ: $r = 27,4\%$.

Задача 5. В процессе разработки системы автоматического контроля (САК) за непрерывным технологическим процессом анализируются три варианта САК с разными уровнями надежности.

Определить экономически целесообразный вариант разработки САК.

Исходные данные: годовой объем выпуска САК $N = 50$ шт.; режимное (действительное) время работы САК за год $T_p = 8000$ ч/год; часовая производительность технологического комплекса $q_{\text{ч}} = 100$ шт./ч; технологическая себестоимость изделия включительно по контрольную операцию, где обнаруживается брак, $S_k = 80$ руб./шт.; вероятность появления брака после отказа САК $P_{\text{бр}} = 0,4$; средние затраты на восстановление работоспособности САК после отказа $\bar{S}_0 = 5000$ руб./отк.; коэффициент нормативной эффективности $E_n = 0,2$.

Сводные данные по вариантам разработки представлены в табл.3.2.

Таблица 3.2

Сводные данные по вариантам разработки

Вариант разработки	Количество отказов	Инвестиции на разработку, тыс. руб.	Себестоимость изготовления САК, тыс. руб.	Стоимость (цена) САК, тыс. руб./шт.	Среднее время восстановления САК после отказа t_v
1	12	2400	1100	1200	6
2	6	3000	1200	1500	4
3	3	6000	1600	2000	3

Контрольные вопросы

1. В чем проявляется эффект от повышения надежности изделий?
2. Какие показатели характеризуют надежность?
3. Какие основные показатели надежности характеризуют восстанавливаемые изделия?
4. Какие показатели надежности используются для невосстанавливаемых изделий?
5. Какие виды материального ущерба возникают при отказе изделия?
6. Из чего складывается материальный ущерб в случае, когда приостановлен выпуск продукции из-за отказа изделия?
7. Как определить материальные потери от сбоя в работе электронного устройства?
8. Как определить материальные потери от отказа системы автоматического контроля за непрерывным технологическим процессом?
9. Из чего складываются затраты на устранение отказа?
10. Как определить оптимальный вариант повышения надежности изделия?

4. Организация поточного производства

Однопредметные поточные линии

Цель занятия: ознакомиться с методиками расчета однопредметных линий (непрерывно-поточных и прерывно-поточных) и приобрести навыки рационального распределения загрузки оборудования и рабочих во времени.

Основные теоретические положения

Для массово-поточного производства характерны однопредметные линии, т.е. линии, на которых обрабатываются изделия одного наименования и каждое рабочее место специализировано на выполнении одной детали операции.

Наиболее распространенными формами организации однопредметных поточных линий являются: непрерывно-поточные (рабочие и распределительные конвейеры), автоматические, прямоточные (прерывно-поточные) и стационарные потоки при неподвижном изделии, но с периодическим переходом рабочих или специализированных бригад от одного изделия к другому.

Для непрерывно-поточного производства обязательным условием является равенство операционных циклов, при котором продолжительность отдельных операций должна быть равна или кратна такту линии:

$$\frac{t_1}{c_1} = \frac{t_2}{c_2} = \frac{t_3}{c_3} = \dots = \frac{t_n}{c_n} = r,$$

где t - нормы времени по операциям процесса, мин; r - такт непрерывно-поточной линии, мин/шт.; c_i - количество рабочих мест.

Синхронизация операций обеспечивается разнообразными техническими и организационными мероприятиями.

При предварительной синхронизации операции проектируются путем комбинирования (разделения или соединения) переходов; предусматривается повышение режимов обработки, применение высокопроизводительного оборудования, оснастки и т.д. На стадии проектирования рассчитывается синхронизация операций, при этом допускаются отклонения по операционным циклам от такта в пределах 10 - 12%. Эти отклонения устраняются при отладке линии в цеховых условиях путем использования средств малой механизации, дальнейшей интенсификации режимов, применения комбинированного инструмента, лучшей организации и обслуживания рабочего места, индивидуального подбора рабочих на недогруженные и перегруженные операции, введения вспомогательных рабочих, дополнительного материального стимулирования.

Непрерывно-поточные линии с рабочим конвейером

Исходным моментом проектирования поточной линии является расчет такта r ее работы. Такт - это расчетный интервал времени между запуском (или выпуском) двух смежных изделий на линии. Он определяется по формуле

$$r = F_d : N_3,$$

где F_d - действительный фонд времени работы линии за определенный период (месяц, сутки, смену) с учетом потерь на ремонт оборудования и регламентированных перерывов, мин; N_3 - программа запуска за тот же период времени, шт.

Такт совпадает с действительным интервалом времени между запусками (выпусками) смежных изделий лишь при поштучной передаче деталей по операциям процесса.

Если предусматриваются остановки линии (перерывы) для отдыха рабочих, то такт линии (в мин./шт.) рассчитывается с учетом этих перерывов:

$$r = \frac{F_d - f_{\text{пер}}}{N_3}.$$

При передаче же деталей партиями p период времени, отделяющий выпуск (запуск) одной партии от следующей за ней, соответственно увеличивается и его называют ритмом работы линии R :

$$R = pr.$$

Число рабочих мест (расчетное) по операциям определяется по формуле

$$c_{pi} = t_i : r,$$

где t_i - норма времени на комплексную операцию с учетом установки, транспортирования и снятия деталей, мин.

Принятое число рабочих мест $c_{пр_i}$ определяется округлением расчетного количества до ближайшего целого числа. При этом учитывается, что на стадии проектирования линий допускается перегрузка в пределах 10 - 12% на каждое рабочее место. Эта перегрузка может быть снята в процессе отладки линии в цеховых условиях.

Коэффициент загрузки рабочих мест η_3 определяется по формуле

$$\eta_3 = c_p : c_{пр}.$$

Расстояние между осями смежных предметов на рабочем конвейере l_o (шаг конвейера) устанавливается с учетом габарита и массы изделия, удобства расположения рабочих мест на линии и допустимой скорости движения конвейера. Минимальная величина шага определяется габаритами изделия и необходимым зазором между ними. Максимальная величина шага лимитируется допустимой скоростью движения конвейера. Скорость движения конвейера v (в м/мин) рассчитывается соответственно такту поточной линии:

$$v = l_o \cdot r.$$

При передаче изделий партиями скорость движения конвейера определяется по формуле

$$v = l_o : rp = l_o : R.$$

Наиболее удобная и безопасная для работы скорость движения рабочего конвейера - 0,1 - 2,0 м/мин, допустимая - до 3,5 м/мин.

Для поддержания ритма работы на рабочих местах устанавливают рабочие зоны операций (станции). Зона представляет собой участок конвейера, на котором выполняется операция. Границы этих зон целесообразно отмечать каким-либо знаком на неподвижной части транспортера или на полу.

Длина рабочей зоны операции определяется по формуле

$$l_i = l_o \frac{t_i}{r} = l_o c.$$

На операциях, где время их фактического выполнения может значительно отклоняться от нормы (хотя бы один раз), предусматриваются дополнительные, резервные, зоны:

$$l_{рез_i} = \sigma_i l_i,$$

где σ_i - коэффициент отклонения времени (максимальной фактической задержки) при выполнении операции, определяемый по формуле

$$\sigma_i = \frac{t_{\max_i} - t_i}{t_i}.$$

Длина резервной зоны может определяться по скорости v :

$$l_{рез_i} = (t_{\max_i} - t_i)v.$$

Резервная зона принимается в числе целых делений Δ_i , прибавляемых к длине рабочей зоны операции:

$$l_{рез_i} = \Delta_i l_i.$$

Полная длина рабочей зоны операции:

$$l_p = l_i + l_{рез_i} = l_o (c_i + \Delta_i).$$

Длина всей рабочей части конвейера:

$$L_p = \sum_1^m l_p = \sum_1^m l_o c_i + \sum_1^m l_{рез_i} = l_o \sum_1^m (c_i + \Delta_i),$$

где m - число операций, выполняемых на потоке.

Длина замкнутой ленты (цепи) конвейера определяется исходя из конструктивных особенностей транспортера (рис.4.1):

$$L_{л} = 2L_p + 2\pi R_1,$$

где R_1 - радиус натяжной звездочки (устройства).

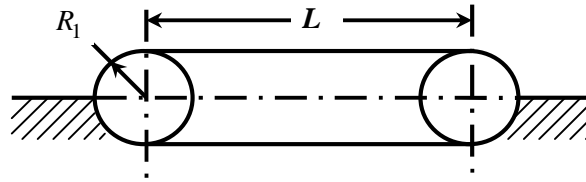


Рис.4.1. Пример транспортера

Длительность цикла $T_{\text{ц}}$ технологических и контрольных операций (технологического цикла) обработки одной детали составляет

$$T'_{\text{ц}} = \frac{r(\sum c_{\text{т}} + \sum c_{\text{к}}) + \frac{\sum l_{\text{рез}i}}{v}}{60},$$

где $c_{\text{т}}$ - число рабочих мест на операциях технологического процесса; $c_{\text{к}}$ - число рабочих мест на контрольных операциях.

Если детали передаются партиями, то длительность технологического цикла обработки партии определяется по формуле

$$T'_{\text{ц}} = \frac{pr(\sum c_{\text{т}} + \sum c_{\text{к}}) + \frac{\sum l_{\text{рез}i}}{v}}{60}.$$

Если партии (детали) снимаются с конвейера для выполнения операции, то технологический цикл удлинится, т.е. время транспортирования не перекрывается временем выполнения операции. В этом случае длительность цикла составляет

$$T'_{\text{ц}} = \frac{pr(2\sum c - 1) + \frac{\sum l_{\text{рез}i}}{v}}{60},$$

где c - общее число рабочих мест на линии.

Длительность технологического цикла обработки любого числа деталей n на линии будет определяться по формуле

$$T'_{\text{ц}} = nr + (n - p)r \sum_{i=1}^{m-1} c.$$

Пример решения типовой задачи

На рабочем конвейере собирается коробка передач; габарит 365x295 мм. Необходимо определить такт и ритм линии, рассчитать требуемое число рабочих мест на операциях, выбрать тип и определить основные параметры конвейера (шаг и длину рабочей части конвейера), определить скорость конвейера и длительность технологического цикла.

Расчетная суточная программа для линии - 450 шт., работа производится в две смены. Регламентированные перерывы - 30 мин в смену. Технологическим процессом сборки на операции № 5 предусматриваются отклонения фактических затрат времени в пределах 0,7 - 1,35 от t_i . Исходные данные и расчет параметров линии представлены в табл.4.1.

Решение. Определяется такт линии. Так как действительный фонд времени равен разности между календарным фондом $T_{\text{к}}$ и временем регламентированных перерывов $T_{\text{п}}$ в работе линии, то

$$r = \frac{T_{\text{к}} - T_{\text{п}}}{N_3};$$

$$T_{\text{к}} - T_{\text{п}} = 8 \cdot 2 - 0,5 \cdot 2 = 15 \text{ ч};$$

$$r = 900 : 450 = 2 \text{ мин.}$$

Таблица 4.1

Исходные данные и расчет параметров линии

Номер операции	Операция	Расчет параметров линии				
		t_i , мин	$c_p = \frac{t_i}{r}$	$c_{пр}$	$\eta_3 = \frac{c_p}{c_{пр}}$	$l_p = l_o(c_i + \Delta_i)$
1	Поставить фланец и закрепить его винтами	2,1	1,05	1	105	1
2	Вставить валик в коробку передач	5,9	2,95	3	98,3	3
3	Привернуть крышку, собранную в комплект	6,1	3,05	3	101,8	3
4	Надеть на валик муфту	2,1	1,05	1	105	1
5	Просверлить и развернуть отверстие под винт (на передвижном станке)	6	3	3	100	4*
6	Поставить штифт	2,0	1	1	100	1
7	Поставить ниппель в коробку передач	6,0	3	3	100	3
8	Ввернуть тройник в верхний ниппель	1,8	0,9	1	90	1
9	Контроль	1,1	0,55	1	55	1

* Для этой операции предусмотрена резервная зона.

Принимаем $l_o = 1$ м; тогда

$$n = l_o : r = 1 : 2 = 0,5 \text{ м/мин.}$$

Длительность цикла сборки узла:

$$T_{ц} = \frac{r(\sum c_t + \sum c_k) + \frac{\sum l_{рез_i}}{v}}{60} = \frac{2 \cdot 17 + \frac{1}{0,15}}{60} = \frac{36}{60} = 0,55 \text{ ч.}$$

Непрерывно-поточные линии с распределительным конвейером

Распределительные конвейеры применяются в непрерывно-поточном производстве, когда работа выполняется не на конвейере, а на стационарных рабочих местах и на операциях имеется несколько рабочих мест-дублеров, расположенных вдоль конвейера с одной или двух сторон.

Такт, ритм, число рабочих мест и скорость движения конвейера определяют по тем же формулам, что и для линии с рабочим конвейером.

Величину шага l_o распределительного конвейера устанавливают исходя из габарита изделия, планировки оборудования и условий распределения деталей между рабочими-дублерами.

Для поддержания ритма работы на этих конвейерах предусматривается либо автоматическое распределение изделий по рабочим местам, либо распределение их при помощи разметочных знаков. Разметка может быть выполнена в виде цифр, букв, окраски делений.

Минимально необходимое число разметочных знаков (период конвейера, или комплект разметочных знаков) Π определяется как общее наименьшее кратное из числа рабочих мест по всем операциям процесса. Комплект знаков на общей длине ленты может повторяться несколько раз, но обязательно целое число раз k . Минимальная длина рабочей части конвейера определяется из условий расположения оборудования и конструктивных особенностей транспортера.

Удобны для работы комплекты знаков 6, 12, 24 и 30. При больших комплектах вводится дифференцированная разметка, при которой на конвейер наносится двойной комплект знаков, например окраска полей и нумерация. При этом часть рабочих пользуется одним комплектом знаков, а другая часть - другим.

Распределение разметочных знаков производится согласно табл.4.2. К примеру, принято, что на операциях с цифровой разметкой имеются три и четыре рабочих места-дублера, следовательно, комплект знаков $\Pi_1 = 12$, а на операции с пятью рабочими местами и разметкой окраской $\Pi_{11} = 5$.

Таблица 4.2

Число рабочих мест, их порядковые номера и разметка

Номер операции	Число рабочих мест и их порядковые номера	Разметка	Знак, закрепленный за рабочими местами	Число знаков, закрепленных за рабочим местом
1	1	Цифрами	1, 5, 9	3
	2		2, 6, 10	3
	3		3, 7, 11	3
	4		4, 8, 12	3
2	1	Цифрами	1, 4, 7, 10	4
	2		2, 5, 8, 11	4
	3		3, 6, 8, 12	4
3	1	Цифрами	1, 5, 9	3
	2		2, 6, 10	3
	3		3, 7, 11	3
	4		4, 8, 12	3
4	1	Окраской	Красное поле	1
	2		Синее поле	1
	3		Желтое поле	1
	4		Зеленое поле	1
	5		Белое поле	1

Длина рабочей части конвейера L_p устанавливается предварительно в зависимости от планировки оборудования.

Станки могут быть расположены с одной или двух сторон конвейера в линейном или шахматном порядке.

Длина ленты (цепи) транспортера определяется по формуле

$$L_{\text{л}} = 2L_p + 2\pi R_1.$$

Установив шаг l_0 и комплект разметочных знаков Π , определяют число повторений комплекта k по всей длине ленты. Для сохранения ритмичности работы на линии комплект знаков должен повторяться на длине ленты кратное число раз (т.е. k - целое число). Следовательно, должно быть обеспечено равенство

$$L_{\text{л}} = l_0 \Pi k.$$

Если это равенство не достигается, то корректируется величина шага

$$l_{\text{о,кор}} = L_{\text{л}} : \Pi k.$$

Длительность производственного цикла обработки изделия на линии определяется способами, изложенными выше. При этом необходимо учитывать время транспортирования одного предмета:

$$T_{ц} = \frac{r \sum c + \frac{L_p}{v}}{60}.$$

Пример решения типовой задачи

На линии с распределительным конвейером обрабатывается корпус коробки передач; габарит 365x295 мм; масса до обработки 38 кг. Необходимо определить такт и ритм линии; рассчитать требуемое число рабочих мест и их загрузку; выбрать тип и основные параметры конвейера (скорость движения конвейера, шаг, длину рабочей части конвейера), составить таблицу распределения номеров конвейера; определить длительность производственного цикла при расчетной программе для линии 109 шт./см. Линия работает в одну смену; технологический процесс обработки корпуса приведен в табл.4.3.

Решение. Определяем такт линии по формуле

$$r = \frac{F_d}{N_3} = \frac{8 \cdot 60 \cdot 1}{109} = 4,4 \text{ мин.}$$

Последующие расчеты приведены в табл.4.3.

Таблица 4.3

Технологический процесс обработки корпуса

Технологический процесс			Расчет параметров линии		
Номер операции	Операция	t_i , мин	c_p	$c_{пр}$	η_3
1	Фрезеровать плоскость прилегания к коробке скоростей	12,9	2,95	3	98,5
2	Фрезеровать плоскость прилегания к крышке коробки скоростей	12,9	2,95	3	98,5
3	Шлифовать обе плоскости	4,2	0,96	1	96
4	Рассверлить семь отверстий	4,3	0,98	1	98
5	Нарезать резьбу	8,7	1,98	2	99
6	Рассверлить четыре отверстия	4,2	0,96	1	96
7	Нарезать резьбу	4,3	0,98	1	96

По планировке оборудования длина линии при однорядном расположении станков равна 30 м; $l_o = 2,5$ м; $\Pi = 6$; $v = l_o / r = 0,57$ м/мин. Тогда

$$T_{ц} = r \sum c + \frac{L_p}{v} = 105,4 \text{ мин;}$$

$$L_{л} = 2L_p + 2\pi R.$$

При $R = 0,5$ м

$$L_{л} = 2 \cdot 30 + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 = 63,14 \text{ м;}$$

$$K = \frac{63,14}{6 \cdot 2,5} \approx 5;$$

где K - число повторений комплекта;

$$l_o = \frac{63,14}{6 \cdot 5} \approx 2,1;$$

$$v = \frac{2,1}{4,4} \approx 0,48 \text{ м/мин.}$$

В табл.4.4 приведены номера конвейера при $\Pi = 6$.

Распределение номеров конвейера

Номер операции	Число рабочих мест и их порядковые номера	Знак, закрепленный за рабочими местами	Число знаков, закрепленных за рабочим местом
1	1	1, 4	2
	2	2, 5	2
	3	3, 6	2
	4	4, 8, 12	2
2	1	1, 4	2
	2	2, 5	2
	3	3, 6	3
3	1	Все	6
4	1	Все	6
5	1	1, 3, 5	3
	2	2, 4, 6	3
6	1	Все	3
7	1	Все	6
8	1	Все	6

Прерывно-поточные (прямоточные) линии

Прерывно-поточные линии применяются в тех случаях, когда при разработке технологии не удастся достичь синхронности операций: производительность операций различна, а их продолжительность не согласована с тактом работы линии.

Ритмичность работы такой линии заключается в том, что через определенные промежутки времени на каждой операции обрабатывается строго определенное, одинаковое число изделий при различной загрузке рабочих мест. Следовательно, *под ритмом* работы прямоточной линии понимается интервал времени (кратный продолжительности смены), в течение которого на линии формируется выработка заданной величины (по сменному заданию). Вследствие разности ритмов работы по операциям (имеющим различную производительность) создаются межоперационные оборотные заделы.

Полное использование фонда рабочего времени достигается внедрением многостаночного обслуживания и совмещением обслуживания операций. При этих условиях необходимо разработать и задать оптимальный и постоянный режим обслуживания (график), определяющий периоды работы оборудования и рабочих, порядок и время переходов рабочих, обслуживающих несколько станков, на протяжении смены. Кроме того, необходимо определить такт прямоточной линии, число рабочих мест по операциям, коэффициент их загрузки.

Для определения числа рабочих, обслуживающих линию, необходимо дифференцированно определить загрузку по станкам (рабочим местам), рассмотреть вопрос о возможности выполнения одним рабочим, занятым на недогруженном оборудовании (рабочем месте), других операций с таким расчетом, чтобы обеспечить выполнение задания участком, наиболее полное использование рабочего времени и создать наиболее благоприятные условия труда. Для такого совмещения работ желательно подбирать технологически близкие операции и однородные станки. Один из вариантов графика работы станков и рабочих на этих операциях приведен на рис.4.2.

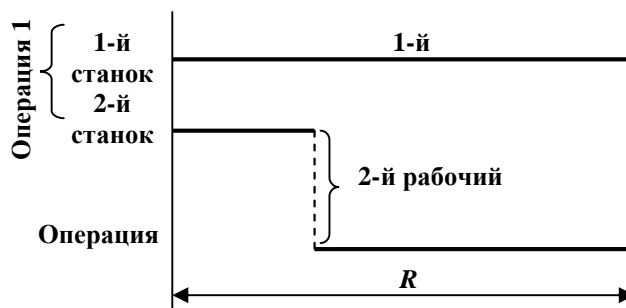


Рис.4.2. Схема загрузки станков на операциях

Ритм работы линии на протяжении смены должен соответствовать условиям подачи продукции на последующие участки, а также условиям правильной организации труда рабочих-совместителей. Например, выполнение сменного задания (100 шт.) на линии можно организовать различным образом: по 50 шт. за полсмены ($R = 1/2$ смены), по 25 шт. за 120 мин ($R = 1/4$ смены) или по 12-13 шт. за 1 ч ($R = 1$ ч) и т.д. При этом условия труда рабочих-совместителей и величины заделов на линии будут различными.

На протяжении ритма работы линии величина межоперационного оборотного задела изменяется от нуля до максимума. Поэтому часто ритм работы линии называют *периодом комплектования* заделов.

Выбор рационального периода комплектования и установление режима работы линий (порядок обслуживания станков и работы рабочих) производится при составлении плана-графика (рис.4.3).

Номер операции	Штучная норма времени	c_p	$c_{пр}$	Номер станка	Загрузка станка, %	Исполнитель	Загрузка рабочего, %	Число деталей, обрабатываемых за период	Период комплектования (ритм)	
									$R = 120$ мин	$R = 120$ мин
1	6,7	1,40	2	А	100	1	100	18		
-	-	-	-	Б	40	2	100	7	40%	40%
2	2,9	0,6	1	Б	60	2	-	25	60%	60%

Рис.4.3. План-график работы оборудования и рабочих на прямоточной линии

Вследствие различной производительности смежных операций между ними на линии образуются оборотные заделы. Величина оборотного задела равняется разности выработок на смежных операциях за период T . Максимальный задел определяется по формуле

$$Z_{\max} = \frac{T_{c_i}}{t_i} - \frac{T_{c_{i+1}}}{t_{i+1}},$$

где T - период времени, в течение которого смежные операции находятся в неизменных условиях по производительности (при неизменном числе работающих станков); c_i и c_{i+1} - число единиц оборудования, работающих на смежных операциях в течение периода T ; t_i и t_{i+1} - нормы времени на смежных операциях.

Величина задела между смежными операциями должна рассчитываться для каждого значения T , т.е. для каждого случая изменения его величины на протяжении периода комплектования. Например, для случая, приведенного на рис.4.4, расчет производится один раз.

Оборотный задел при $R = 120$ мин ($T = 120 \cdot 0,4$):

$$Z'_{\max} = \frac{120 \cdot 0,4 \cdot 2}{6,7} - \frac{120 \cdot 0,4 \cdot 0}{2,9} = +14 \text{ шт.}$$

Если $R = 240$ мин (он всегда кратен продолжительности смены), то задел между операциями равен

$$Z'_{\max} = \frac{240 \cdot 0,4 \cdot 2}{6,7} - \frac{240 \cdot 0,4 \cdot 0}{2,9} = +28 \text{ шт.}$$

Следовательно, уменьшение периода комплектования задела приводит к уменьшению незавершенного производства.

Задел со знаком «плюс» означает, что к началу первого периода T_1 задел равен нулю и за период T_1 он возрастает до рассчитанного максимального значения (14 шт.).

Задел для второго периода T_2 , начинающегося после остановки второго станка операции № 1, равен

$$Z''_{\max} = \frac{120 \cdot 0,6 \cdot 1}{6,7} - \frac{120 \cdot 0,6 \cdot 1}{2,9} = 11 - 25 = -14 \text{ шт.}$$

Задел со знаком «минус» означает, что для одновременной работы станков на смежных операциях в периоде T_2 следует к началу периода создать задел необходимой максимальной величины (14 шт.).

Движение оборотных заделов на линии может быть показано графически в виде эпюр. Рекомендуется перед тем, как рассчитывать заделы, построить план-график работы станков для периода R , на основании которого рассчитывается движение заделов (рис.4.4).

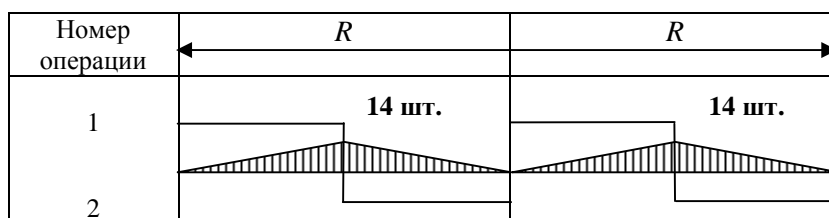


Рис.4.4. Эпюра заделов

Пример решения типовой задачи

На прямооточной линии обрабатывается картер редуктора. Определить такт линии; рассчитать число рабочих мест и число рабочих на линии; составить план-график работы оборудования и рабочих; рассчитать межоперационные заделы и построить график их движения.

Участок работает в две смены, суточная программа запуска - 184 шт. Технологический процесс обработки картера представлен в табл.4.5.

Таблица 4.5

Технологический процесс обработки картера, необходимое оборудование и норма времени

Номер операции	Операция	Оборудование	Разряд работы	Норма времени, мин
1	Сверлить отверстие в плоскости под опорный ролик	Радиально-сверлильный станок, тип 253	2	2,9
2	Фрезеровать горец с внутренней стороны	Горизонтально-фрезерный станок, тип Г-2	2	2,3
3	Сверлить отверстие до пересечения с литым каналом	Вертикально-сверлильный станок, тип 2175	2	2,7
4	Нарезать резьбу	То же	3	1,7
5	Сверлить отверстие на проход	-"-	2	2,3
6	Ввернуть в картер шпильки и завернуть гайки	Гайковерт	-	1,2
7	Нарезать резьбу	Специальный четырехшпиндельный станок «Станкоконструкция»	3	5,1
8	Цековать отверстия	Радиально-сверлильный станок, тип 253	2	2,5

Решение. Такт линии:

$$r = \frac{T_{\text{см}} \cdot S}{N_3} = \frac{480 \cdot 2}{184} = 5,2 \text{ мин.}$$

где $T_{\text{см}}$ - длительность смены; S - число смен.

Требуемое число рабочих мест по операциям определяется по формуле

$$c = \frac{t_i}{r};$$

на операции № 1

$$c_1 = 2,9 : 5,2 = 0,56 \text{ и т.д.}$$

Число рабочих мест, их загрузка и число рабочих на линии приведены в табл.4.6.

Таблица 4.6

Расчетное и принятое числа рабочих мест и их загрузка

Номер операции	Норма времени, мин	c_p	$c_{пр}$	Загрузка рабочих мест, %	Число рабочих	Порядок совмещения операций
1	2,9	0,56	1	56	1	1-й рабочий
2	2,3	0,44	1	44	-	Обслуживается 1-м рабочим
3	2,7	0,52	1	52	1	2-й рабочий
4	1,7	0,33	1	33	1	3-й рабочий
5	2,3	0,44	1	44	-	Обслуживается 3-м рабочим
6	1,2	0,23	1	23	-	То же
7	5,1	0,98	1	98	1	Обслуживается 4-м рабочим
8	2,5	0,48	1	48	-	Обслуживается 2-м рабочим

План-график работы линии и рабочих представлен на рис.4.5.

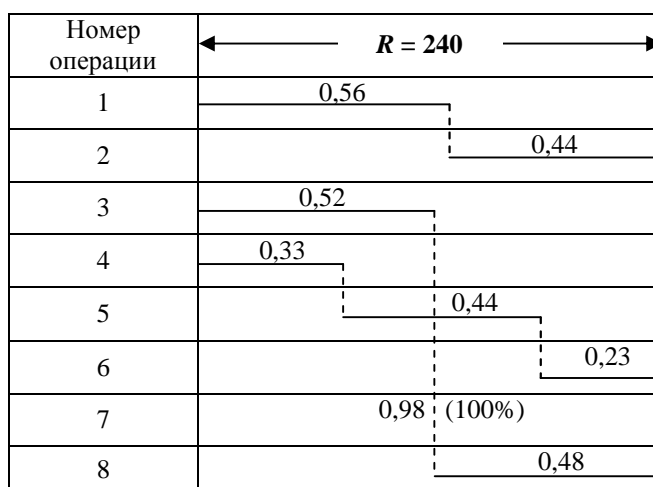


Рис.4.5. План-график работы линии и рабочих

При расчете оборотных заделов устанавливается, что на протяжении смены будет два периода комплектования задела, каждый продолжительностью 240 мин (т.е. 0,5 смены). Определяется время работы каждого рабочего на одном рабочем месте:

$$T_{п} = \frac{R \cdot K_3}{100},$$

где R - укрупненный ритм; K_3 - коэффициент загрузки рабочих мест.

1-й рабочий на операции № 1 работает 134 мин ($240 \cdot 0,56 : 100$), на операции № 2 - 106 мин ($240 \cdot 0,44 : 100$);

2-й рабочий на операции № 3 работает 125 мин ($240 \cdot 0,52 : 100$), на операции № 8 - 115 мин ($240 \cdot 0,48 : 100$);

3-й рабочий на операции № 4 работает 80 мин ($240 \cdot 0,33 : 100$), на операции № 5 - 105 мин ($240 \cdot 0,44$), на операции № 6 - 55 мин;

4-й рабочий на операции № 7 работает 240 мин.

Межоперационный оборотный задел определяется по формуле

$$Z_{\max} = \frac{T_{п} c_i}{t_{ш_i}} - \frac{T_{п} c_{i+1}}{t_{ш_{i+1}}},$$

где $t_{ш_i}$ - штучная норма времени.

$$Z'_{1-2} = \frac{134 \cdot 1}{2,9} - \frac{134 \cdot 0}{2,3} = +46 \text{ шт.}; \quad Z''_{1-2} = -46 \text{ шт.};$$

$$Z'_{2-3} = 0 - \frac{240 \cdot 0,19}{2,7} = -46 \text{ шт.}; \quad Z''_{2-3} = 0; \quad Z'''_{2-3} = \frac{240 \cdot 0,44}{2,3} - 0 = +46 \text{ шт.};$$

$$Z'_{3-4} = \frac{240 \cdot 0,33}{2,7} - \frac{240 \cdot 0,33}{1,7} = -17 \text{ шт.}; \quad Z''_{3-4} = \frac{240 \cdot 0,19}{2,7} - 0 = +17 \text{ шт.};$$

$$Z'_{4-5} = \frac{240 \cdot 0,33}{1,7} - 0 = +46 \text{ шт.}; \quad Z''_{4-5} = 0 - \frac{240 \cdot 0,44}{2,3} = -46 \text{ шт.};$$

$$Z'_{5-6} = \frac{240 \cdot 0,44}{2,3} - 0 = +46 \text{ шт.}; \quad Z''_{5-6} = 0 - \frac{240 \cdot 0,23}{1,2} = -46 \text{ шт.};$$

$$Z'_{6-7} = 0 - \frac{240 \cdot 0,77}{5,1} = -36 \text{ шт.};$$

$$Z''_{6-7} = \frac{240 \cdot 0,23}{1,2} - \frac{240 \cdot 0,23}{5,1} = 46 - 10 = +36 \text{ шт.}; \quad Z'_{7-8} = \frac{240 \cdot 0,52}{5,1} - 0 = +24 \text{ шт.};$$

$$Z''_{7-8} = \frac{240 \cdot 0,48}{5,1} - \frac{240 \cdot 0,48}{2,5} = 22 - 46 = -24 \text{ шт.}$$

На основе произведенных расчетов строится график (эпюра) межоперационных оборотных заделов (рис.4.6) и выполняется планировка оборудования, удовлетворяющая наибольшей прямоотности движения предметов труда и сближению станков, обслуживаемых одним рабочим.

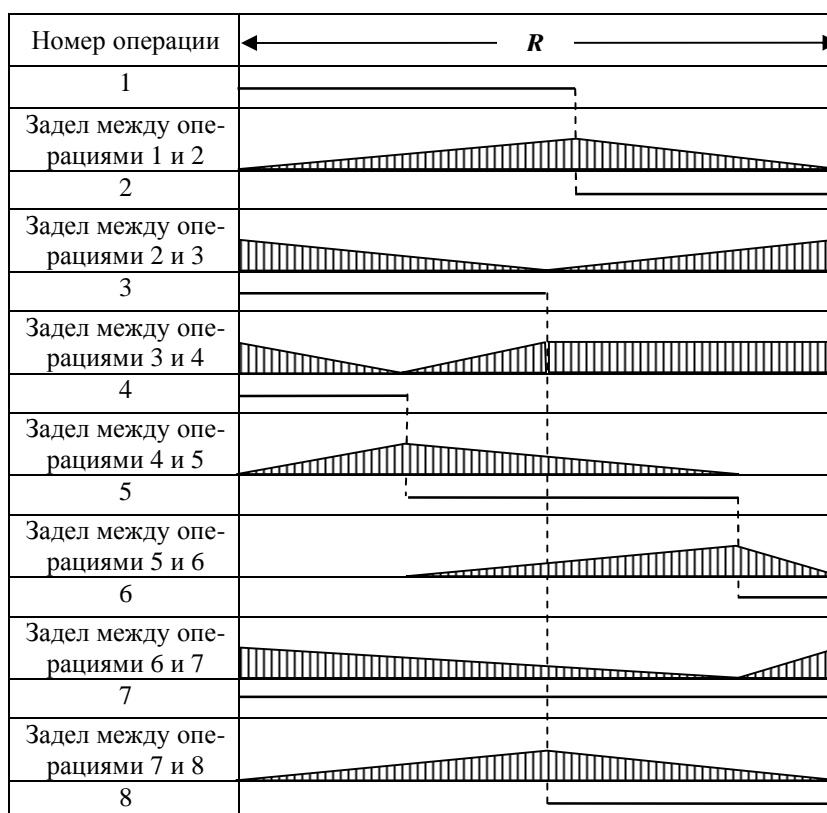


Рис.4.6. График межоперационных оборотных заделов

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Определить необходимую длину сборочного конвейера, а также скорость его движения при следующих условиях: сменная программа линии сборки - 150 механизмов, шаг конвейера - 2 м, на сборке занято 12 рабочих; регламентированные перерывы для отдыха в смену - 30 мин.

Ответ: $L_p = 24$ м; $v = 0,67$ м/мин.

Задача 2. Процесс сборки изделий в цехе организован в форме стационарного потока при неподвижном изделии и переходах рабочих по объектам. Определить число сборочных стендов и периодичность передвижения бригад сборщиков от одного стенда к другому.

Годовая программа выпуска - 1200 изделий; трудоемкость работ на каждом стенде - в среднем 120 нормо-часов; состав каждой бригады - 3 человека, коэффициент выполнения норм - 1,11; цех работает 22 дня в месяц в две смены по 8 ч, перерывы - 18 мин в смену.

Ответ: $c = 10$; $R = 3,4$ ч.

Задача 3. Процесс сборки изделия M состоит из шести операций продолжительностью:

Номер операции	1	2	3	4	5	6
Норма времени, мин	6	5	5,2	6,3	7,2	5,9

Определить коэффициенты загрузки сборщиков по операциям, если на каждой занято по одному человеку. Как изменится суточный выпуск линии, если на операции № 5 осуществить мероприятия, которые повысят производительность труда и уменьшат норму времени до 6 мин.

Ответ: выпуск увеличится с 67 до 76 шт.

Задача 4. Радиоприемники собирают на конвейере. Сменная программа линии - 34 радиоприемника; трудоемкость сборки приемника - 5 ч 25 мин; шаг конвейера - 1,6 м; регламентированные остановки линии для отдыха рабочих - 7%; рабочие места располагаются с одной стороны конвейера.

Определить: 1) такт линии; 2) число рабочих мест; 3) скорость движения конвейера; 4) общую длину конвейера.

Ответ: 1) $r = 13$ мин; 2) $c = 25$ рабочих мест; 3) $v = 0,12$ м/мин; 4) $L_{\text{л}} = 40$ м.

Задача 5. В цехе осуществляется стационарная сборка станков. Процесс сборки синхронизирован; операции сборки осуществляются бригадами, состоящими из 5 человек каждая; трудоемкость всех сборочных операций - 220 человеко-час; месячная программа - 228 станков (за 23 дня); цех работает в две смены; регламентированные перерывы и потери времени на линии составляют за месяц в среднем 10% номинального фонда времени работы линии.

Определить число необходимых сборочных станков, а также периодичность (ритм) передвижения бригад сборщиков.

Ответ: $c = 27$ станков; $R = 1,45$ ч.

Задача 6. Коробки передач (габарит 365х265 мм) собирают на рабочем конвейере. Суточная программа запуска линии - 365 шт.; режим работы - две смены по 8 ч. На операции № 2 фактические затраты времени колеблются в пределах 0,7 - 1,3 от штучной нормы времени. Регламентированные перерывы составляют 30 мин в смену. Технологический процесс сборки представлен в табл.4.7.

Таблица 4.7

Технологический процесс сборки коробки передач и нормы времени операций

Номер операции	Операция	Норма времени, мин
1	Завести шестерню с запрессованной в ней деталью в коробку передач	2,5
2	Поставить валик в отверстие коробки, надеть на валик шестерню и кольцо, продвинуть валик на место	7,4
3	Надеть на валик шестерню с запрессованной втулкой, напрессовать втулку	2,3
4	Вставить валик в коробку передач	2,6
5	Просверлить и нарезать два отверстия под винты в валиках и нарезать два отверстия в валике и в корпусе коробки (снять с конвейера)	5,0
6	Нарезать два отверстия в валике и в корпусе коробки	7,45
7	Поставить винты	5,1
8	В отверстие коробки передач запрессовать наружное кольцо роликоподшипника	5,0
9	Контроль	1,3

Необходимо: 1) определить такт линии; 2) рассчитать требуемое число рабочих мест на линии; 3) наметить тип и определить основные параметры конвейера (шаг, рабочие зоны операций, общую длину, скорость); 4) подсчитать продолжительность цикла сборки; 5) составить схему планировки поточной линии.

Ответ: $r = 2,44$ мин; $c = 16$ рабочих мест.

Задача 7. Рассчитать требуемое число станков по операциям и их загрузку на линии обработки шатуна и крышки автомобильного двигателя.

Годовое задание составляет 900 тыс. шт.; потери времени в работе оборудования - 7%; линия работает в две смены по 8 ч. Технологический процесс обработки представлен в табл.4.8.

Таблица 4.8

Технологические операции и нормы времени

Номер операции	Операция	Норма времени, мин
1	Фрезерование обеих сторон крышки и установка бобышек	0,6
2	Сверление отверстия под поршневой палец	0,4

3	Протяжка отверстия под поршневой палец	0,3
4	Фрезерование места стыка шатуна и крышки	0,5
5	Сверление отверстий для болтов	0,5
6	Фрезерование бобышек для болтов	0,6
7	Цековка и зенковка бобышек	0,6
8	Сверление отверстия для зажимного винта	0,5
9	Нарезание резьбы	0,3
10	Расточка большой головки	0,3
11	Контроль	0,4

Ответ: $c_{\text{пр}} = 25$; $\eta_3 = 0,78$.

Задача 8. Воздушный насос (габарит 320x220 мм) собирают на линии с рабочим конвейером.

Сменная программа для линии - 470 шт.; работа производится в одну смену. На операции № 7 фактические затраты времени колеблются в пределах 0,7 - 1,3 от штучной нормы; регламентированные перерывы в работе линии - 30 мин в смену. Технологический процесс сборки представлен в табл.4.9.

Таблица 4.9

Технологический процесс сборки воздушного насоса

Номер операции	Операция	Норма времени, мин
1	Установить картер насоса в приспособление; вынуть опору из картера	1,9
2	Установить в гнездо кривошип и вбить шпонку	0,9
3	Снять картер с приспособления, вернуть от руки перепускной клапан и вернуть в картер пробку	0,95
4	Поставить картер в приспособление и вернуть пробки около отверстия под крышку	1,0
5	Вставить картер в кривошип со шпонкой, надеть шестерню на кривошип, надеть на кривошип замочную шайбу, навернуть гайку	3,8
6	Поставить опору кривошипа, вернуть и затянуть три винта крепления опоры	2,8
7	Контроль	0,4

Необходимо: 1) определить такт линии; 2) рассчитать требуемое число рабочих мест на линии; 3) наметить тип и основные параметры конвейера (шаг, рабочие зоны, длину, скорость); 4) определить длительность цикла сборки изделия; 5) составить схему планировки поточной линии.

Ответ: $r = 0,95$ мин; $c = 13$ рабочих мест; $L_p = 13$ м.

Задача 9. Сменная программа выпуска линии - 143 шт.; технологические потери составляют в среднем 2%; регламентированные перерывы в работе линии - 6% от продолжительности смены. Технологический процесс представлен в табл.4.10.

Определить такт непрерывно-поточной линии обработки маховика трактора, требуемое число рабочих мест и степень их загрузки.

Ответ: $r = 3,1$ мин; $c = 19$ станков.

Таблица 4.10

Технологический процесс обработки маховика трактора и нормы времени

Номер операции	Операция	Норма времени, мин
1	Черновая обточка обода	5,48
2	Черновая обточка ступицы	6,1
3	Чистовая проточка ступицы и обода	18,34
4	Сверление и нарезание резьбы девяти отверстий	3,2

5	Зенкерование	2,9
6	Протяжка двух шпоночных канавок	3,0
7	Шлифование	5,9
8	Балансировка	5,4
9	Промывка	3,2

Задача 10. Поточная линия для обработки выпускного клапана двигателя должна работать с тактом 3,8 мин. Технологический процесс обработки представлен в табл.4.11.

Таблица 4.11

Технологический процесс обработки выпускного клапана двигателя

Номер операции	Операция	Норма времени, мин
1	Подрезка торца и обточка диаметра головки	1,6
2	Центровка штока и проточка радиуса	7,3
3	Обдирка фасок, гибка, отрезка и подрезка конца штока	3,6
4	Предварительное шлифование штока	1,0
5	Сверление отверстия в штоке	6,2
6	Обточка головки, окончательная проточка, гибка, развертка и расточка отверстия под пробку	6,1
7	Запрессовка пробки и расточка гнезда под наплавку твердого сплава	1,7
8	Наплавка стеллита	3,0
9	Шлифование торца, снятие фаски на торце штока, проточка фаски, предварительная и окончательная проточка радиуса шейки	5,92
10	Шлифование штока и фаски	5,6

Определить число необходимых рабочих мест по операциям и их загрузку, а также программу, при которой будет достигнута наибольшая загрузка рабочих мест на линии.

Ответ: $c = 15$ станков; $N = 130$ шт.

Задача 11. На участке, работающем в одну смену, обрабатывается станина токарного станка. Технологический процесс приведен в табл.4.12.

Таблица 4.12

Технологический процесс обработки

Номер операции	Операция	Трудоемкость, ч
1	Строгание	3,5
2	Расточка	2
3	Сверление отверстий	2,5

Определить: 1) при какой программе в смену и с каким числом рабочих мест на операциях линия может работать как непрерывно-поточная; 2) с какими межоперационными заделами работает линия, если на каждой операции имеются по два станка, а период комплектования задела равен смене, и какова при этом программа выпуска; 3) как изменятся выпуск станин и величина задела, если на операции № 1 будут работать четыре станка.

Ответ: $N_{\text{вып}} = 16$ шт./см.; $c = 16$ рабочих мест.

Задача 12. На линии с распределительным конвейером обрабатывается картер воздушного насоса (габарит 320x140 мм, масса заготовки 9 кг).

Суточная программа для линии - 734 шт., линия работает в две смены по 8 часов. Технологический процесс представлен в табл.4.13.

Таблица 4.13

Технологический процесс обработки

Номер операции	Операция	Оборудование	Норма времени, мин
1	Фрезеровать плоскость фланца	Вертикально-фрезерный станок, тип 612	5,2
2	Сверлить семь отверстий во фланце	Вертикально-сверлильный одношпиндельный станок, тип 2135А	1,35
3	Зенкеровать отверстия	То же	4,0
4	Развернуть два отверстия	То же	3,7
5	Фрезеровать горек со стороны привода	Горизонтально-фрезерный станок, тип 665	2,7
6	Цековать торцы	Сверлильный одношпиндельный станок, тип 213С	1,3
7	Сверлить два отверстия	Сверлильный одношпиндельный станок, тип 221С	1,25
8	Контроль		0,7

Необходимо: 1) определить такт линии; 2) рассчитать требуемое число рабочих мест по операциям и их загрузку; 3) составить схему планировки поточной линии; 4) составить таблицу распределения разметочных знаков конвейера; 5) наметить тип и основные параметры конвейера (шаг, комплект разметочных знаков, длину и скорость).

Ответ: $r = 1,31$ мин; $\Pi = 12$; $c = 16$ станков.

Задача 13. На линии с распределительным конвейером обрабатывается ведущая шестерня (длина - 297 мм, диаметр - 118 мм; масса заготовки - 4 кг).

Сменная расчетная программа для линии - 298 шт. Технологический процесс представлен в табл.4.14.

Таблица 4.14

Технологический процесс обработки

Номер операции	Операция	Норма времени, мин
1	Фрезерование торца	1,6
2	Предварительная обточка	4,7
3	Обточка конуса	1,5
4	Окончательная обточка	4,7
5	Нарезание десяти шлицев	4,65
6	Предварительное шлифование шейки	1,5
7	Фрезерование резьбы	3,1

Необходимо: 1) определить такт линии и требуемое число рабочих мест и их загрузку; 2) наметить тип и основные параметры конвейера (шаг, период, общую длину, скорость); 3) составить таблицу распределения номеров конвейера; 4) составить схему планировки поточной линии; 5) рассчитать цикл обработки деталей.

Ответ: $r = 1,61$ мин; $c = 14$ станков.

Задача 14. Произвести предварительную синхронизацию технологического процесса ручной сборки методом комбинирования операций и определить требуемое число рабочих.

Такт поточной линии - 5 мин. Продолжительность операций следующая:

Номер операции	1	2	3	4	5	6	7
Норма времени, мин	3,2	2,6	1,7	4,3	2,5	3,2	1,9

Последовательность расположения операций № 1, 2, 3, 4 и 5 может быть выбрана произвольно; операции № 6 и 7 должны выполняться последовательно в конце обработки.

Ответ: $c = 4$ чел.

Задача 15. Произвести предварительную синхронизацию технологического процесса сборки, определить требуемое число рабочих и разработать регламент их работы, если линия должна работать в две смены по 8 ч. Для выполнения суточного задания (240 шт.) продолжительность операций следующая:

Номер операции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Время, мин	3	1	4	0,7	1,3	1,0	0,9	2,0	1,9	3,9	8	4

Ответ: $c = 8$ чел.

Многопредметные поточные линии

Цель занятия: 1) ознакомиться с методикой расчета многопредметных линий (переменно-поточных) и особенностями их организации; 2) приобрести навыки расчета такта, числа рабочих мест, периодичности запуска партий.

Основные теоретические положения

Для серийного производства характерны многопредметные линии, которые должны обладать гибкостью и быстротой переналадки, иметь меньшую, чем в массовом производстве, степень специализации участков и рабочих мест.

Наиболее распространенными многопредметными линиями являются переменнo-поточные, групповые и серийно-прямоточные.

Расчет групповых непрерывно-поточных линий по существу ничем не отличается от расчета однопредметных непрерывно-поточных линий.

Число рабочих мест c и такт r рассчитывают по следующим формулам:

$$r = F_d : \sum_1^m N; \quad c_i = t_i : r; \quad c = \sum_1^m N_i \tau : F_d,$$

где F_d - действительный фонд работы линии в плановом периоде; N - программное задание по каждому из закрепленных за линией объектов; m - число закрепленных за линией объектов; c_i - число рабочих мест на операции; τ - трудоемкость обработки на линии отдельного объекта.

Переменно-поточные линии

Исходным моментом для расчета переменнo-поточных (последовательно-партионных) линий служит программа и на ее основе расчетный такт. При расчете такта необходимо учитывать планируемые потери времени работы линии в связи с переналадкой оборудования.

На переменнo-поточных линиях различают понятия среднего (расчетного) такта $r_{\text{ср}}$ как некоторую среднюю характеристику производительности линии и частных (рабочих) тактов линии r_i . Последние характеризуют такт обработки деталей каждого наименования.

Средний (расчетный) такт определяют по формуле

$$r_{\text{ср}} = \frac{F_d(1 - \eta)}{\sum_1^m N_i},$$

где η - коэффициент потерь времени на переналадку линии; $\sum_1^m N_i$ - сумма программных заданий по всем закрепленным за линией изделиям.

Расчет частных (рабочих) тактов линии. Частный такт переменнo-поточных линий может быть определен различными способами в зависимости от ряда условий: степени различия в трудоемкости закрепленных изделий, требований к ритмичности (возможности работы линий с разными тактами при обработке различных изделий), числа закрепленных за линией групп деталей и их программных заданий.

Расчет рабочих тактов по условному объекту. При этом способе расчета трудоемкость одного из закрепленных изделий принимается за единицу. Для других деталей находят коэффициент приведения $k_{\text{пр}}$ путем деления их трудоемкости τ_i на трудоемкость условной единицы τ_y :

$$k_{\text{пр}i} = \tau_i : \tau_y.$$

Затем для каждой детали определяют программу в приведенных единицах:

$$N_{\text{пр}i} = N_i k_{\text{пр}i}.$$

На основе этих данных рассчитывают условный общий такт по формуле

$$r_y = \frac{F_d(1-\eta)}{\sum_1^m N_{\text{пр}i}},$$

где $F_d(1-\eta)$ - действительный фонд работы линий с учетом потерь времени на переналадки.

Тогда рабочие такты линии обработки отдельных изделий будут

$$r_i = r_y k_{\text{пр}i}.$$

Обязательным условием при этом способе расчета тактов является

$$\sum_1^m N_i \tau_i = c F_d.$$

Расчет рабочих тактов по продолжительности выпуска каждого вида изделий. При этом полезный фонд работы линии в плановом периоде распределяется между закрепленными за линией изделиями пропорционально трудоемкости программных заданий. Фонд времени за планируемый период (месяц), требуемый для изготовления изделий определенного наименования Φ_a , рассчитывается по формуле

$$\Phi_a = F_d(1-\eta) \frac{N_a \tau_a}{\sum_1^m N_i \tau_i},$$

где N_i - месячные программные задания по отдельным видам изделий; τ_i - трудоемкость изготовления i -го изделия; τ_a - трудоемкость изделия а, для которого рассчитывается такт; N_a - месячное программное задание по изделию, для которого рассчитывается такт.

Частный случай обработки отдельных видов изделия, например изделий «а», определяется по формуле

$$r_a = \Phi_a : N_a.$$

Расчет рабочих тактов в зависимости от степени различия в трудоемкости изделий. При одинаковом составе операций и различной трудоемкости изделий рассчитывают частные такты при неизменном числе рабочих мест на линии. В этом случае вначале определяют общее число рабочих мест на линии:

$$c = \frac{\sum_1^m N_i \tau_i}{F_d(1-\eta)},$$

где $\sum_1^m N_i \tau_i$ - суммарная трудоемкость всех закрепленных за линией изделий.

Затем, исходя из частной трудоемкости отдельных объектов и общего числа рабочих мест на линии, определяют частные такты по формуле

$$r_i = \tau_i : c.$$

Расчет числа рабочих мест. Общее число рабочих мест c на линии может быть определено исходя из числа рабочих мест по операциям c_i , а последние - из норм времени и частных тактов:

$$c_1 = t_1 : r; \quad c_2 = t_2 : r.$$

Общее число рабочих мест на операции может быть принято равным наибольшему значению c_i из числа рассчитанных по всем закрепленным за линией изделиям, т.е. c_A , c_B и т.д. Общее число рабочих мест на линии равно сумме принятых рабочих мест по всем операциям потока.

Определение размера партии. Размер партии устанавливается расчетом или подбором с учетом главным образом допустимого числа переналадок, приходящихся на одно рабочее место (не более одной переналадки в день, смену). Расчетный размер партии определяется по формуле

$$n = \frac{\Pi(1-\eta)}{\eta r},$$

где Π - потери рабочего времени в связи с переналадкой линии, мин.

Расчет периодичности запуска партий. Периодичность запуска партий каждой детали на переменнo-поточной линии, исходя из числа партий в планируемом периоде (месяце), определяется следующим образом:

$$R_a = \frac{\Phi_a n_a}{N_3},$$

где N_3 - программа запуска данного изделия в планируемом периоде.

Составление плана-графика (стандарта-плана) работы линии. Зная размер выпуска по каждому изделию и частные такты, рассчитывают продолжительность периода выпуска партии (в сменах) каждого изделия, закрепленного за линией:

$$\Phi'_i = \frac{N_i r_i}{480}.$$

Определяют общее время работы линий на планируемый период $\Phi_{пл}$, при этом учитывают также время на переналадку линии $\sum \Pi$ (в том случае, если переналадка производится в рабочее время):

$$\Phi_{пл} = \sum \Phi'_i + \sum \Pi.$$

На основании фонда времени работы линии и его состава по изделиям разрабатывают стандарт-план работы линии, предусматривающий строгую очередность обработки партий изделий различных наименований и периодичность их запуска.

В целях сокращения времени на переналадку линии на очередной объект порядок чередования партий устанавливается исходя из того, чтобы каждая последующая партия по характеру операций и наладкам оборудования была возможно ближе к предыдущей партии.

Пример решения типовой задачи

Рассчитать переменнo-поточную линию, на которой обрабатываются изделия А, Б, В. Месячная программа выпуска изделий: А - 3000 шт., Б - 2000 шт., В - 4000 шт.

Партии обработки принимаются равными месячной программе. Линия работает в две смены 23 дня в месяц; потери времени на ремонт и переналадку линии составляют 5%.

Изделия проходят обработку на револьверных, токарных, горизонтально-фрезерных и шлифовальных станках. Трудоемкость представлена в табл.4.15.

Таблица 4.15

Трудоемкость изготовления изделия

Изделие	Трудоемкость при обработке на станках, мин				
	револьверных	токарных	горизонтально-фрезерных	шлифовальных	всего
А	7,0	2,5	5,0	2,5	17,0
Б	6,2	2,2	4,3	2,3	15,0
В	7,5	2,4	4,8	2,3	17,0

Рассчитать рабочие такты исходя из распределения фонда работы линии пропорционально трудоемкости программных заданий.

Решение. Определяется месячный действительный фонд времени работы линии:

$$F_d = 23 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0,95 = 350 \text{ ч.}$$

Рассчитываются продолжительность выпуска и частные такты по изделиям. Продолжительность выпуска каждого изделия определяется из суммарной продолжительности выпуска изделий и удельной трудоемкости программных заданий:

$$\Phi_A = 46 \cdot 0,34 \approx 16 \text{ смен;}$$

$$\Phi_B = 46 \cdot 0,20 \approx 9 \text{ смен;}$$

$$\Phi_V = 46 \cdot 0,46 \approx 22 \text{ смены.}$$

Частные такты работы линии для каждого изделия сведены в табл.4.16.

$$r_A = \frac{16 \cdot 8 \cdot 60}{3000} = 2,56 \text{ мин};$$

$$r_B = \frac{9 \cdot 8 \cdot 60}{2000} = 2,16 \text{ мин};$$

$$r_B = \frac{22 \cdot 8 \cdot 60}{4000} = 2,64 \text{ мин}.$$

Таблица 4.16

Сводная таблица частных тактов по изделиям

Изделие	Месячная программа, шт.	Трудоемкость программных заданий по изделиям T_i , мин	Трудоемкость месячного задания $N_i T_i$			Продолжительность выпуска изделия Φ_i		Частный такт r_i , мин
			мин	ч	%	ч	смены	
А	3000	17,0	51000	850	34,0	119,4	16	2,56
Б	2000	15,0	30000	500	20,0	70,6	9	2,16
В	4000	17,0	68000	1130	46,0	160,0	160,0	2,6
Итого			149000	2480	100		47	

Определяется потребное число рабочих мест c_i по видам обработки, коэффициент их загрузки η_3 и строится график загрузки оборудования:

$$c_i = \frac{t_i}{r_i}; \eta_3 = \frac{c_p}{c_{пр}} 100\%.$$

Например, по револьверной группе

$$c_{A_{рев}} = t_{A_{рев}} : r_{i_A} = 7 : 2,56 = 2,75;$$

$$c_{A_{рев}} = 3; \eta_3 = 2,75 : 3 = 0,92.$$

Расчеты по всем операциям выполняются аналогично, а результаты сводятся в табл.4.17.

Таблица 4.17

Расчеты по операциям

Изделие	Φ_i , смены	r_i , мин	Станки							
			револьверные		токарные		фрезерные		шлифовальные	
			η_3	$c_{рев}$	η_3	$c_{ток}$	η_3	$c_{фр}$	η_3	$c_{шл}$
А	16	2,56	2,75	3	0,98	1	2,00	2	0,98	1
Б	9	2,16	2,90	3	1,04	1	2,00	2	1,05	1
В	22	2,64	2,84	3	0,90	1	1,81	2	0,87	1

Анализируя табл.4.17, можно сделать следующие выводы:

- 1) при обработке различных изделий число рабочих мест одинаковое, что очень важно с точки зрения использования оборудования;
- 2) загрузка оборудования удовлетворительная и обеспечивает выполнение месячного задания;
- 3) закрепленные за линией изделия имеют близкую трудоемкость по разным видам обработки. Это дает возможность перевести линию на работу с единым тактом при одинаковых технологических маршрутах.

На основании произведенных расчетов строится план-график работы переменного-поточной линии (рис.4.7). Если месячное задание по изделию выполняется несколькими партиями, то определяется периодичность запуска R партий и в соответствии с этим строится план-график работы линии.

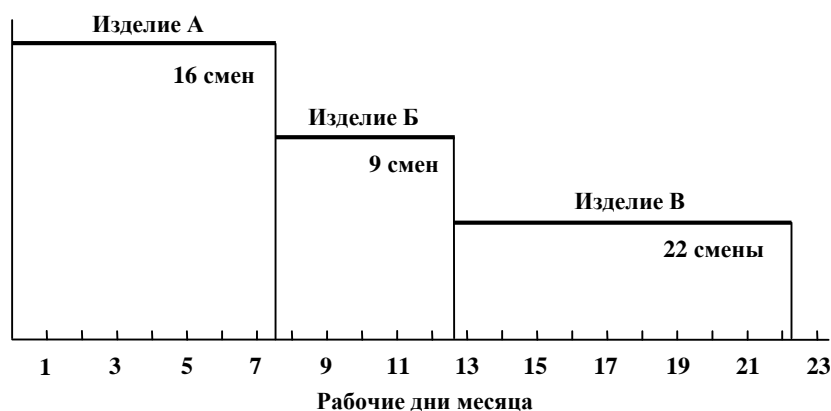


Рис.4.7. План-график работы переменного-поточной линии

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Месячной программой предусматривается сборка на поточной линии четырех видов изделий. Объем выпуска и трудоемкость сборки изделий следующие:

Изделие	А	Б	В	Г
Месячная программа, шт.	600	540	900	420
Трудоемкость сборки, мин	88	120	78	160

Определить: такт выпуска изделий и число сборщиков при условии: а) сборка будет осуществляться параллельно на четырех поточных линиях; б) сборка будет производиться на одной сборочной линии (переменно-поточной), при этом потери времени в связи с переходом на сборку каждого следующего изделия не учитываются.

Ответ: $r_A = 3,67$ мин; $r_B = 5,23$ мин; $r_V = 3,27$ мин; $r_G = -6,6$ мин.

Задача 2. На переменного-поточной линии обрабатываются четыре вида деталей. Программа запуска в месяц и трудоемкость сборки следующие:

Изделие	А	Б	В	Г
Месячная программа, шт.	200	320	400	560
Трудоемкость сборки, мин	120	80	65	82

Линия работает в две смены 22 дня в месяц; потери времени на переналадку составляют 6%.

Определить: 1) частные такты работы линии; 2) число рабочих мест на линии и их загрузку; 3) период времени выполнения задания по каждому объекту.

Ответ: $r_A = 19,8$ мин; $r_B = 13,8$ мин; $r_V = 10,6$ мин; $r_G = 13,5$ мин; $T_A = 4,5$ дня; $T_B = 5$ дней; $T_V = 5,2$ дня; $T_G = 9$ дней.

Задача 3. На переменного-поточной линии ведется обработка круглых плашек нескольких типоразмеров. Месячная программа по плашкам следующая:

Плашка	M10	M12	M16	M22	M27
Месячная программа, шт.	10000	10200	9000	8500	5000

Обработка плашек осуществляется партиями, переналадка станков ведется поочередно.

Линия работает 22 дня в месяц в две смены по 8 ч. Потери времени работы линии составляют 3%. Технологический процесс обработки с нормами времени по операциям представлен в табл.4.18.

Таблица 4.18

Технологический процесс обработки

Номер операции	Операция	Норма времени, мин				
		M10	M12	M16	M22	M27
1	Автоматная обработка	1,88	2,44	3,4	3,92	5,54
2	Шлифование торца	0,34	0,44	0,64	0,94	1,76
3	Клеймение	0,78	0,78	0,96	1,12	1,26
4	Нарезание резьбы	1,46	1,64	2,32	2,9	3,24
5	Сверление	1,72	2,24	3,24	5,04	6,48

	стружечных отверстий					
6	Затыловка заборного конуса	1,16	1,16	1,16	1,4	1,8
7	Сверление боковых гнезд	0,74	0,74	0,94	1,26	1,38
8	Шлифование торцов	0,44	0,52	0,8	1,28	2,0
9	Полирование по наружному диаметру	0,2	0,2	0,26	0,38	0,44
10	Заточка передних граней	1,44	1,88	2,16	2,40	3,0
11	Шлифование затылка	1,48	1,96	2,16	2,52	3,12
12	Прогонка резьбы	0,62	0,62	0,74	0,94	1,04
Итого		12,2 6	14,6 2	18,7 8	24,1 0	31,0 6

Определить: 1) частные такты работы линии (через уставный такт); 2) число рабочих мест по операциям для каждого размера плашек и их загрузку; 3) размер партии обработки для каждого размера плашек, если принять допустимый коэффициент потерь времени на переналадку 0,03 (или 3%), а время, требуемое на переналадку самого сложного станка, 30 мин; 4) построить план-график работы линии.

Примечание. Ввиду значительной трудоемкости данной задачи она может быть решена частично в отношении отдельных участков линии; для этого линию можно условно разделить, например, на три участка: 1) операции 1 - 5; 2) операции 6 - 9; 3) операции 10 - 12.

Ответ: $r_1 = 0,37$ мин; $r_2 = 0,44$ мин; $r_3 = 0,54$ мин; $r_4 = 0,72$ мин; $r_5 = 0,89$ мин.

Задача 4. На переменнo-поточной линии обрабатываются изделия пяти наименований с одинаковым технологическим маршрутом, но различной трудоемкостью по большинству операций. Состав станков на поточной линии при обработке всех изделий остается неизменным, что диктует работу линии при обработке разных изделий с различными частными тактами. Однако обеспечиваются единый ритм выпуска изделий и постоянная скорость транспортера благодаря различным размерам передаточных партий для каждого вида изделий. Режим работы линии: 23 рабочих дня в месяц в две смены по 8 ч. Потери времени на наладку - 6,5%, плановый ремонт оборудования выполняется в нерабочее время. Программа выпуска и трудоемкость каждого изделия следующие:

Изделие	А	Б	В	Г	Д
Программа выпуска, шт.	4800	6000	1500	1000	1500
Трудоемкость одного изделия, мин	20	24	16	12	8

Определить частные такты, число рабочих мест и постоянный ритм работы линии.

Ответ: $c = 14$ станков; $R = 11,98$ мин.

Задача 5. На переменнo-поточной линии обрабатывается пять видов изделий с одинаковым технологическим маршрутом и различной трудоемкостью только по двум операциям (№ 1 и 5). На указанных операциях оборудование при обработке отдельных изделий используется не полностью.

Линия работает с единым тактом для всех изделий; режим работы линии: 23 дня в месяц в две смены по 8 ч. Потери времени на наладку - 6,5%; плановый ремонт оборудования выполняется в нерабочее время. Обработка может производиться поштучно и партионно. Программа выпуска и трудоемкость каждого изделия представлены в табл. 4.19.

Определить такт линии и число станков по операциям.

Ответ: $r = 1,04$ мин; $c = 14$ станков.

Таблица 4.19

Трудоемкость изделия

Номер операции	Операция	Месячная программа, шт.				
		А	Б	В	Г	Д
		8000	5000	3000	1000	3000
		Трудоемкость изделий, мин				
1	Обточить по наружному диаметру	4,0	7,0	5,2	6,7	4,8
2	Подрезать торцы	2,1	2,1	2,2	2,1	2,0
3	Зацентрировать с двух сторон	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
4	Фрезеровать канавку под смазку	3,2	3,2	3,3	3,4	3,3

5	Шлифовать по наружному диаметру	1,5	1,5	2,3	3,9	1,5
Итого		12,0	15,0	14,2	17,3	12,8

Задача 6. Определить рабочие такты и число рабочих мест для переменного-поточной линии сборки четырех типов блоков, имеющих значительное конструктивное сходство:

Изделие	А	Б	В	Г
Месячная программа выпуска, шт.	500	1000	300	200

Режим работы линии: 23 дня, в две смены по 8 ч; допустимые потери времени на переналадку - 7%. Технологический процесс сборки представлен в табл.4.20.

Произвести расчет частных тактов по условному объекту и по продолжительности выпуска отдельных видов изделий.

Ответ: $r_A = 8,03$ мин; $r_B = 9,4$ мин; $r_V = 10,9$ мин; $r_T = 12,6$ мин.

Таблица 4.20

Технологический процесс сборки

Номер операции	Операция	Норма времени, мин			
		А	Б	В	Г
1	Установка кронштейна и других деталей	34,0	40,5	49,1	54,0
2	Монтаж	20,8	23,5	23,0	25,2
3	Установка сборочного соединения	8,7	10,0	11,5	13,0
4	Балансировка и проверка	33,0	40,0	46,0	53,0
5	Проверка по контактными отметкам	18,0	21,0	23,0	26,1
6	Закрытие блока	9,0	10,0	11,4	13,2
Итого		123,5	145,0	164,0	187,5

Задача 7. На переменного-поточной линии обрабатываются шестерни двух размеров: диаметром 20 и 24 мм. Месячная программа линии по первому изделию составляет 1000 шт., по второму - 750 шт. Технологический процесс представлен в табл.4.21.

Таблица 4.21

Технологический процесс

Номер операции	Операция	Станок	Норма штучного времени, мин	
			д. 20 мм	д. 24 мм
1	Токарная обработка	Револьверный	52	54
2	Нарезание резьбы	Зубофрезерный	80	73
3	Сверление	Вертикально-сверлильный	12	12
4	Закругление зубьев	Зубозакругловочный	10	13
5	Шлифование отверстия	Внутришлифовальный	25	27

Цех работает в две смены по 8 ч; в месяце 22 рабочих дня.

Определить: 1) рабочие такты линии; 2) число станков по операциям и их загрузку; 3) период времени работы линии, необходимый для обработки каждого изделия.

Ответ: $r_A = r_B = 12$ мин; $\Phi_A = 200$ ч; $\Phi_B = 150$ ч.

Задача 8. На переменного-поточной линии обрабатывается ряд деталей различной трудоемкости. Рабочие такты линии для каждой детали: $r_A = 2$ мин; $r_B = 3$ мин; $r_V = 4$ мин; $r_T = 3$ мин; $r_D = 3$ мин.

Определить для изделий размеры передаточных партий P_i , при которых обеспечивается работа с постоянной скоростью движения конвейера.

Ответ: $P_A = 6$ деталей; $P_B = P_T = P_D = 4$ детали; $P_V = 3$ детали.

Задача 9. На переменнo-поточной линии обрабатывается пять видов деталей с одинаковым технологическим маршрутом, но с различной трудоемкостью. Состав станков на переменнo-поточной линии при обработке всех деталей остается неизменным, что приводит к работе с различными частными тактами. Однако обеспечиваются единый ритм выпуска деталей и одинаковая скорость транспортера за счет передачи изделий различными партиями.

Линия работает 23 дня в месяц, в две смены по 8 ч; потери времени на ремонт оборудования - 5%. Месячная программа и трудоемкость изделий следующие:

Изделие	А	Б	В	Г	Д
Трудоемкость одной детали, мин	24	18	6	18	12
Месячная программа, шт.	6000	3825	1500	986	1000

Определить частные такты для каждой детали, число рабочих мест и ритм линии.

Ответ: $r_A = 2$ мин; $r_B = 1,5$ мин; $r_V = 0,5$ мин; $r_T = 1,5$ мин; $r_D = 1$ мин.

Задача 10. На переменнo-поточной линии обрабатываются три вида изделий различной трудоемкости по одному и тому же технологическому маршруту. Годовая программа запуска изделий следующая: А - 36 000 шт.; Б - 24 000 шт.; В - 12 000 шт.

Режим работы линии: две смены. Допустимые потери времени на переналадку планируют 4%. Время на переналадку наиболее сложного станка в линии составляет 45 мин.

Процесс обработки изделия и нормы времени приведены в табл.4.22.

Таблица 4.22

Трудоемкость изделия по операциям

Номер операции	Трудоемкость изделий, мин		
	А	Б	В
1	2	4	4
2	4	6	12
3	1	3	6
4	3	7	8
Итого	10	20	30

Определить: 1) частные такты обработки каждого вида изделий на линии; 2) число рабочих по операциям и всего на линии; 3) коэффициент загрузки оборудования; 4) размер партий запуска по изделиям. Построить план-график работы линии (стандарт-план) и установить стандартные сроки запуска партий при условии запуска первой партии изделия А первого числа каждого месяца.

Контрольные вопросы

1. Какие линии характерны для массово-поточного производства?
2. Какие формы организации однопредметных поточных линий вам известны?
3. Какое условие является обязательным для непрерывно-поточного производства?
4. Каким образом обеспечивается синхронизация операции?
5. Каким образом обеспечивается ритмичная работа прерывно-поточной линии?
6. Что такое режим работы прямооточной линии?
7. Вследствие чего образуются межоперационные заделы?
8. С какой целью составляется план-график?
9. Как определяется такт прямооточной линии?
10. Как определяется число рабочих мест по операциям?
11. Как определяется коэффициент загрузки рабочих мест?
12. Величина оборотного задела равна разности чисел изделий, обработанных на смежных операциях за период времени T . Как определяется максимальная величина задела Z_{\max} (шт.) за период T ?
13. Что означает задел со знаком «+» или «-»?
14. Какие транспортные средства применяют на прямооточных линиях?
15. Дайте определение многопредметной поточной линии.
16. Перечислите разновидности многопредметной поточной линии.
17. Каковы особенности переменнo-поточной линии?
18. Каковы особенности групповой поточной линии?
19. Когда применяется прерывно-поточное производство?
20. Как производится расчет общего и частных тактов на многопредметной поточной линии?
21. С какой целью рассчитывается общий такт на многопредметной поточной линии?
22. Как производится расчет числа рабочих мест на каждой операции и на всей многопредметной поточной линии?

23. Как обеспечивается полная загрузка рабочих мест?
24. Назовите особенности расчета частного такта по условному объекту.
25. Назовите особенности расчета частного такта по продолжительности выпуска каждого вида изделий.
26. Как определяется коэффициент приведения?
27. С какой целью рассчитывается условная программа выпуска изделий?
28. Какая формула применяется для определения предварительного размера партии запуска деталей?
29. Что называется периодом комплектования задела?
30. Как определяется величина межоперационных заделов?
31. Как строится график изменения величины межоперационных заделов?

5. Планирование производства на основе линейного программирования

Цель занятия: приобрести навыки планирования производства с использованием методов линейного программирования.

Основные теоретические положения

Производственная программа предприятия представляет собой комплексный план производства и продажи продукции, характеризующий годовой объем, номенклатуру, качество и сроки выпуска требуемых рынком товаров и услуг. При формировании производственной программы руководство предприятия должно ориентироваться на выбор таких товаров, работ и услуг, которые принесут наибольшие конечные результаты, т.е. производственная программа должна быть оптимальной.

Под оптимальной производственной программой понимается достижение в заданных условиях максимальных результатов (выручки или прибыли) или минимальных издержек производства.

Пусть предприятие из m видов ресурсов производит n видов продукции. Предположим, что для производства одной единицы j -го вида продукции расходуется a_{ij} единиц i -го вида ресурса, т.е. a_{ij} - норма расхода i -го ресурса на производство единицы j -й продукции. Матрица $A = (a_{ij})$, составленная из норм расхода, называется матрицей норм расхода, или технологической матрицей. При этом j -й столбец матрицы полностью описывает расход ресурсов на производство одной единицы j -й продукции, а i -я строка описывает расход i -го ресурса на производство единицы каждой продукции.

Нахождение оптимальной производственной программы предполагает выбор критерия оптимальности и установление имеющихся ограничений ресурсов.

Пусть c_j - величина удельной прибыли от реализации одной единицы j -й продукции. Такие удельные прибыли образуют вектор-строку $C = (c_1, \dots, c_n)$. Произведение $CX = c_1x_1 + \dots + c_nx_n$ представляет собой величину прибыли, полученной при реализации $X = (x_1, \dots, x_n)$ единиц произведенной продукции.

Пусть b_i - количество единиц i -го ресурса, существующего на складе. Тогда $B = (b_1, \dots, b_m)$ - вектор-столбец ресурсных ограничений. $AX \leq B$ означает необходимость учитывать ограниченность запасов ресурсов при рассмотрении планов производства. Если неравенство выполняется, значит, для плана X хватит имеющихся запасов ресурсов B , и такой план является допустимым.

Постановка задачи оптимального планирования имеет следующую формулировку: найти такой план производства $X = (x_1, \dots, x_n)$, который был бы допустимым и обеспечивал наибольшую прибыль из всех допустимых планов:

$$\begin{aligned} CX &= c_1x_1 + \dots + c_nx_n \rightarrow \max, \\ a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1, \\ a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m, \\ x_1, \dots, x_n &\geq 0 \end{aligned}$$

или в матрично-векторной форме:

$$\begin{aligned} P(X) &= CX \rightarrow \max, \\ AX &\leq B, \\ X &\geq 0. \end{aligned}$$

Задача оптимального планирования является одной из задач линейного программирования. Линейное программирование возникло в СССР в конце 1930-х годов. Л.В. Канторович, советский экономист-математик, нобелевский лауреат, открыл класс таких задач.

Для решения такого вида задач существует множество математических методов. Наиболее известен симплекс-метод, придуманный американским математиком Дж. Данцигом в 1949 г.

Симплекс-метод представляет собой направленный перебор угловых точек допустимого множества в сторону приближения к искомой точке экстремума. Решение задачи линейного программирования с помощью симплекс-метода оформляется в виде симплексных таблиц.

Пример решения типовой задачи симплекс-методом

Для изготовления четырех видов продукции используют три вида сырья (табл.5.1).

Определить предпочтительную структуру производственной программы по видам продукции.

Таблица 5.1

Симплексная таблица

Виды продукции Виды сырья	j_1	j_2	j_3	j_4	Запас сырья b_i
i_1	1	2	1	0	18
i_2	1	1	2	1	30
i_3	1	3	3	2	40
Прибыль от реализации единицы продукции c_1 , руб.	12	7	18	10	

Решение. 1. Формируем исходную задачу линейного программирования:

$$CX = 12x_1 + 7x_2 + 18x_3 + 10x_4 \rightarrow \max,$$

$$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 18,$$

$$x_1 + x_2 + 2x_3 + x_4 \leq 30,$$

$$x_1 + 3x_2 + 3x_3 + 2x_4 \leq 40,$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, 3, 4.$$

2. Приводим задачу к каноническому виду:

$$CX' = -12x_1 - 7x_2 - 18x_3 - 10x_4 \rightarrow \min,$$

$$x_1 + 2x_2 + x_3 + x_5 = 18,$$

$$x_1 + x_2 + 2x_3 + x_4 + x_6 = 30,$$

$$x_1 + 3x_2 + 3x_3 + 2x_4 + x_7 = 40,$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.$$

3. Формируем симплекс-таблицу: формируемая симплекс-таблица приведена к базису A_5, A_6, A_7 , опорного решения $L_1 = (0; 0; 0; 0; 18; 30; 40)$, при этом $CX' = 0$ (табл.5.2).

Таблица 5.2

Симплексная таблица

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	
1	2	1	0	1	0	0	18
1	1	2	1	0	1	0	30
1	3	3	2	0	0	1	40
12	7	18	10	0	0	0	0

4. Выбираем положительную оценку удельной прибыли $c_s > 0$ ($j = s$) и рассчитываем отношения $Q = b_k / a_{ks}$, где $a_{ks} > 0$, т.е. отношения i -го ресурсного ограничения к соответствующему элементу s -го столбца при условии, что последний положителен. Среди отношений Q выбираем наименьшее. Если $Q = b_k / a_{ks} = \min \{ b_k / a_{ks} \mid a_{ks} > 0 \}$, то симплекс-таблицу приводим к новому базису, вводя A_s и исключая A_{kj} . Эта операция осуществляется с помощью жорданова преобразования всей таблицы с ведущим элементом $a_{ks} \neq 0$.

Жордановым преобразованием системы с ведущим элементом называется совокупность следующих преобразований: 1) умножение k -й строки таблицы на число $1/a_{ks}$; 2) прибавление к первой строке таблицы k -й строки, умноженной на $-a_{1s}$; 3) прибавление ко второй строке таблицы k -й строки, умноженной на $-a_{2s}$, и т.д. В результате жорданова преобразования с ведущим элементом a_{ks} получаем систему, у которой неизвестное x_s является разрешенным (т.е. в данном уравнении коэффициент при x_s равен единице, а в остальных уравнениях эта переменная отсутствует (коэффициент равен нулю)).

Если проделать одно или несколько жордановых преобразований над данной системой, то получим систему, равносильную исходной.

5. Выбираем положительную оценку удельной прибыли $c_1 = 12$ и составляем следующие отношения: 18/1, 30/1, 40/1. Так как наименьшее среди них 18/1, то переходим к базису A_1, A_6, A_7 . Для этого выполняем жорданово преобразование с ведущим элементом $a_{11} = 1$. Результаты приведены в табл.5.3.

Таблица 5.3

Симплексная таблица

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	
1	2	1	0	1	0	0	18
0	-1	1	1	-1	1	0	12
0	1	2	2	-1	0	1	22
0	-17	6	10	-2	0	0	-216

Базис A_1, A_6, A_7 является базисом опорного решения $L_2 = (18; 0; 0; 0; 0; 12; 22)$. При этом $CX' = -216$.

6. Выбираем оценку $c_4 = 10 > 0$ и составляем отношения: 12/1, 22/2. Наименьшим среди них является 22/2. Следовательно, переходим к базису A_1, A_4, A_6 . Результаты приведены в табл.5.4.

Таблица 5.4

Симплексная таблица

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	
1	2	1	0	1	0	0	18
0	-3/2	0	0	-1/2	1	-1/2	1
0	1/2	1	1	-1/2	0	1/2	11
0	-22	-4	0	-7	0	-5	-326

Все оценки базиса A_1, A_4, A_6 не положительны. Следовательно, $L_3 = (18; 0; 0; 11; 0; 1; 0)$ - оптимальное решение канонической задачи минимизации. Поэтому $X = (18; 0; 0; 11)$ - оптимальное решение исходной задачи. При этом $CX = 326$ руб.

Таким образом, чтобы получить максимальную величину прибыли в результате реализации производственной программы, ее структура должна быть следующей: произвести 18 единиц 1-го вида продукции и 11 единиц 4-го вида продукции; от остальных видов продукции следует отказаться.

Задачи для самостоятельного решения

Определить предпочтительную структуру производственной программы по видам продукции.

Задача 1.

Виды продукции Виды сырья	j_1	j_2	Запас сырья b_i
i_1	5	8	3500
i_2	10	5	6000
Прибыль от реализации единицы продукции c_j , руб.	30	20	

Задача 2.

Виды продукции Виды сырья	j_1	j_2	Запас сырья b_i
i_1	3	2	24
i_2	7	20	140
i_3	2	0	11
Прибыль от реализации единицы продукции c_j , руб.	10	9	

Задача 3.

Виды продукции Виды сырья	j_1	j_2	Запас сырья b_i
i_1	2	5	20
i_2	8	5	40
i_3	5	6	30
Прибыль от реализации единицы продукции c_j , руб.	50	40	

Задача № 4.

Виды продукции Виды сырья	j_1	j_2	j_3	Запас сырья b_i
i_1	4	2	1	150000
i_2	6	0	2	170000
i_3	0	2	4	100000
i_4	8	7	0	200000
Прибыль от реализации единицы продукции c_j , руб.	100	150	200	

Контрольные вопросы

1. Что такое производственная программа предприятия?
2. Что такое оптимальность производственной программы?
3. Что предполагает нахождение оптимальной производственной программы?
4. Какую формулировку имеет задача оптимального планирования?
5. Какой метод решения задач оптимального планирования является наиболее известным?
6. Что представляет собой симплекс-метод?
7. Перечислить основные этапы решения задачи оптимального планирования посредством симплекс-метода.

Литература

1. *Анискин Ю.П., Лукьянов А.И.* Инновационный менеджмент: уч. пособие. - М.: МИЭТ, 2000. - 118 с.
2. *Анискин Ю.П.* Организация и управление малым бизнесом: уч. пособие. - М.: Финансы и статистика, 2005. - 160 с.
3. *Клевлин А.Н., Моисеева Н.К.* Организация гармоничного производства (теория и практика): уч. пособие. - М.: Омега-Л, 2003. - 360 с.
4. *Туровец О.Г., Бухалков М.И., Родионов В.Б. и др.* Организация производства и управление предприятием: учебник / *Под ред. О.Г. Туровца.* - 2-е изд. - М.: ИНФРА-М, 2005. - 544 с.
5. *Производственный менеджмент: учебник / Под ред. В.А. Козловского.* - М.: ИНФРА-М, 2003. - 280 с.
6. *Производственный менеджмент: учебник для вузов / Под ред. С.Д. Ильенковой.* - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. - 583 с.