



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**

## **ПОТОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЛИНИИ**

**Ростов-на-Дону  
2022**

## ВСТУПЛЕНИЕ

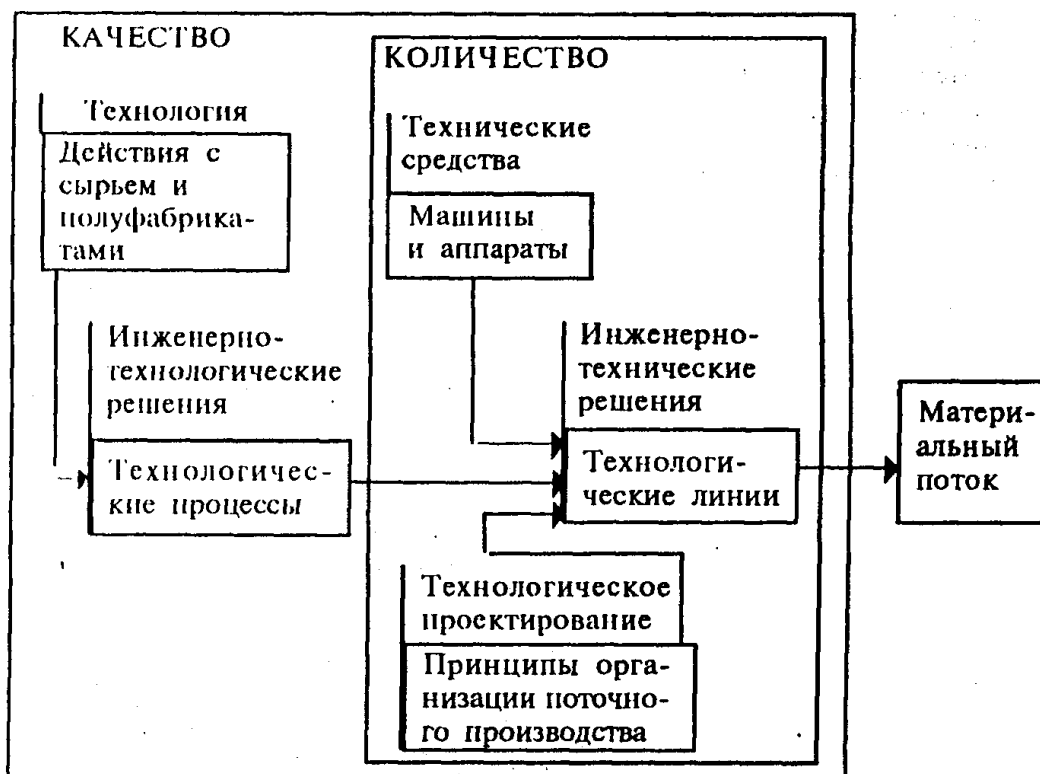
В настоящее время в области производства пищевых продуктов на первый план выдвигаются проблемы создания предприятий с высокой концентрацией оборудования, позволяющего осуществлять быстрый переход на использование различных видов сырья и выпуск разнообразной продукции. Для этого необходимо создать аппарат проектирования, объединяющий возможности и потребности технологов, конструкторов, проектировщиков. Теоретическую базу такого аппарата составляют прогрессивные методы формирования и анализа производственных материальных потоков и самого производства в целом. Исходить следует из того, что предприятие должно обеспечивать стабильный по времени выпуск продукции заданного качества.

Важнейшей задачей производства является получение продукции с определенными качественными параметрами. На ее решение направлена тщательная проработка технологии.

Практически любая технология пищевых производств представляет собой сложный комплекс специфических, обособленных действий с сырьем и полуфабрикатами. Упорядоченные в соответствии с преемственностью свойств полуфабрикатов эти действия образуют конкретные инженерно-технологические решения – технологические процессы.

Далее на первый план выдвигается задача обеспечения возможности выпуска продукции в необходимом количестве. Она решается прежде всего за счет применения соответствующих технических средств: машин, осуществляющих механическое воздействие на материал как физический объект, и аппаратов, действующих на вещество материала химическими соединениями или веществами, физическими полями, радиацией или биологическими объектами. Машины и аппараты объединяются в технологические системы, получившие название технологических линий.

На этом же этапе методами технологического проектирования и на основе принципов организации поточного производства вырабатываются инженерно-технические решения, создающие условия для эффективного использования будущего производственного потенциала – формируются материальные технологические потоки (см. рис.).



Методы и средства для решения задач производства пищевых продуктов

В результате возникают внутрисистемные предпосылки для создания высокоэффективных производств.

# 1. ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА

## 1.1. СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИИ

Основу любого производства с точки зрения обеспечения заданного качества выпускаемой продукции составляют технологии. Каждая технология вытекает из научно обоснованного и подтвержденного многочисленными практическими опытами описания последовательности изменения сырья и полуфабрикатов по мере их превращения в готовый продукт. Следовательно, чтобы выработать какой-то пищевой продукт, нужно прежде всего знать состояние сырья и то, как это состояние должно преобразовываться в процессе переработки. Кроме того, необходимо определить промежуточные, контрольные характеристики полуфабрикатов – свойства, которые можно легко измерить и после достижения которых следует закончить изменение одних параметров и начать изменять другие.

Каждое целенаправленное изменение достигается в результате воздействий на вещество, выраженных физическими, химическими, биологическими процессами или их комбинацией. Контрольные значения параметров полуфабрикатов и готовой продукции позволяют объединять воздействия в системы процессов, которые можно назвать **технологическими операциями**.

Операция обеспечивает переход сырья или полуфабриката из одного качественного состояния в другое. Следовательно, **технология** представляет собой упорядоченную совокупность операций, в результате осуществления которых исходный материал приобретает или сохраняет заданные потребительские свойства.

В технологиях пищевых производств можно выделить, например, такие операции, как смешивание, очистка, разделение, измельчение, нагрев, увлажнение, формование, сульфатация, омыление жира, брожение и пр. Соответственно каждая из этих операций характеризуется качественными показателями, такими как однородность смеси, степень выделения примесей, содержание компонентов в продуктах разделения, однородность измельченного продукта или модуль помола, температура, влажность, однородность формы, выход продуктов химической реакции, насыщение материала продуктами жизнедеятельности бактерий или дрожжей и т.д.

Упорядочение операций осуществляется в соответствии с преемственностью качественных характеристик продукта, так что выходные параметры предыдущей операции являются входными для последующей (рис. 1.1).

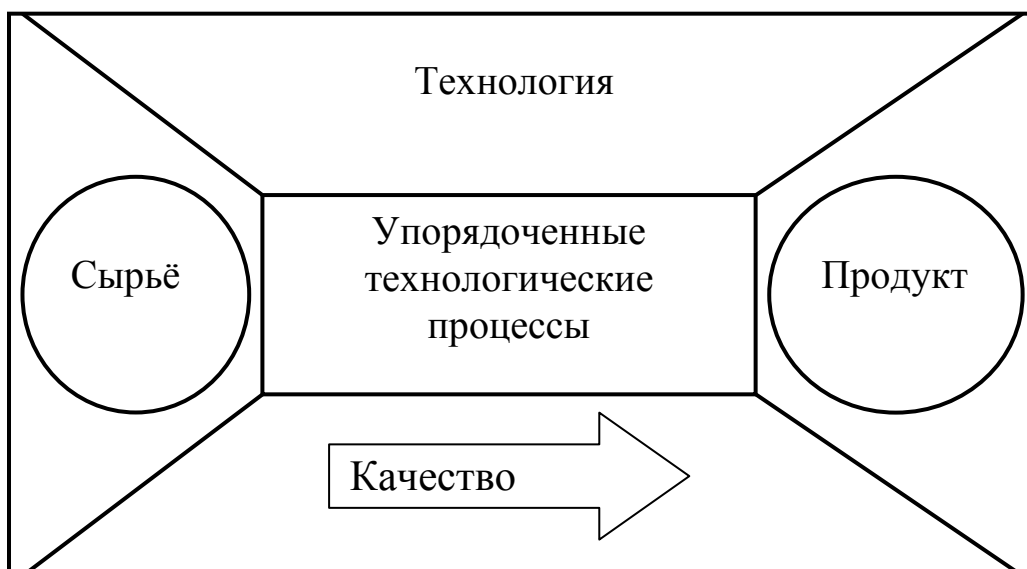


Рис. 1.1. Качественная преємственность при построении технологии

Сам процесс упорядочения представляет собой установление связей между операциями как отдельными элементами и формирование структуры технологии как системы операций (рис. 1.2). Связи отражают оптимальное чередование операций и определяют последовательность изменения сырья по мере его преобразования в готовой продукции – первичный поток качественных состояний вещества.

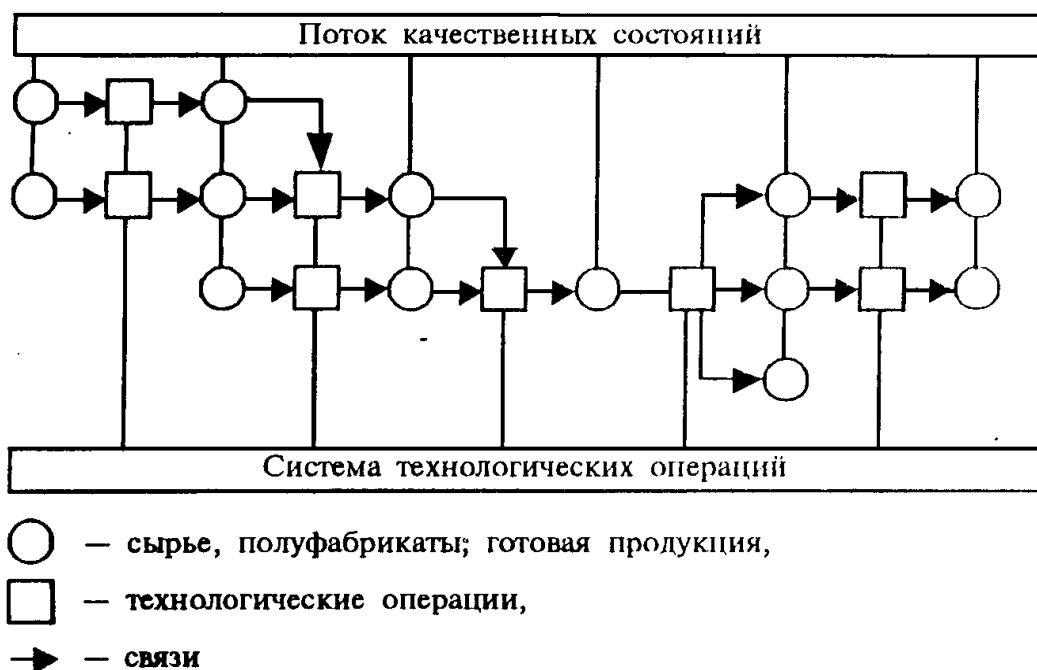


Рис. 1.2. Формирование структуры технологии

Созданная таким образом система технологических операций, объединенных общей целью, приобретает новые свойства, не присущие ни одному из составляющих ее элементов. Она является основой организации производства готового продукта с заданными качественными характеристиками. Фактически

процесс формирования системы операций является первым этапом синтеза технологических систем промышленного производства и создания материального технологического потока.

На практике для графической иллюстрации технологии строится схема с указанием технологических операций и связей между ними, видов сырья и получаемой продукции. Так, для технологии, структура которой представлена на рис. 1.2, можно составить схему (рис. 1.3).

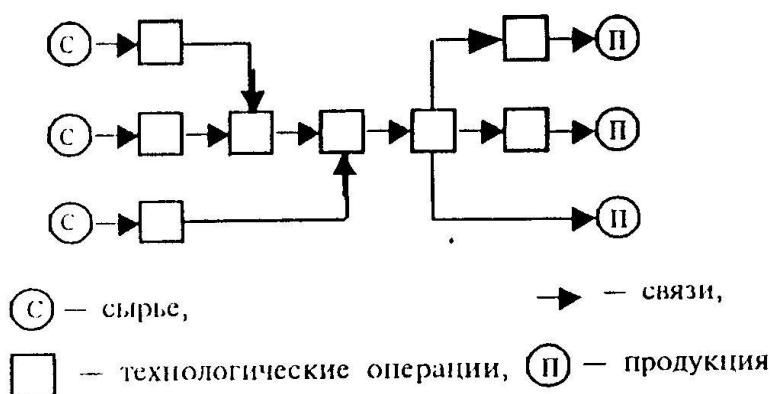


Рис. 1.3. Схема технологии

Связи на такой схеме отражают материальные потоки, возникающие в производстве при реализации технологии.

## 1.2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ОПЕРАЦИЯ

Технологическая операция в чистом виде не указывает способ воздействия на сырье, не рассматривает существа лежащих в его основе процессов. Между тем перевод из одного качественного состояния в другое может быть осуществлен по-разному. В одних случаях оказывается достаточным применить единичный физический, химический или биологический процесс, в других — комплекс параллельных или последовательных процессов различного механизма воздействия. Нередко существует несколько способов для достижения одного и того же качественного состояния продукта. Например, можно проводить конвективный, контактный или радиационный нагрев; фильтрационное, осадительное или флотационное разделение суспензий, сублимационную или тепловую сушку; весовое или объемное дозирование; и т.д. В то же время необходимо учитывать, что для каждой технологии можно определить наиболее рациональные процессы. Каждый такой процесс назовем **рабочим процессом технологии**. Он представляет собой организационно обособленный элемент технологической операции, характеризуемый показателями свойств входящего и выходящего продукта. Тогда можно говорить об операции как о совокупности упорядоченных рабочих процессов (рис. 1.4).

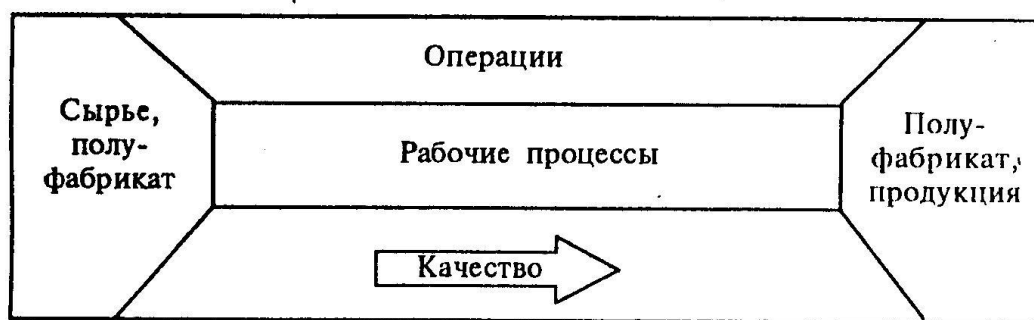


Рис. 1.4. Формирование структуры операции

Инженера-механика, занимающегося разработкой конкретных технических решений для реализации технологии и разработкой соответствующих технических средств, интересуют именно рабочие процессы, потому что на их основе он строит свою деятельность. Следовательно, технология – это система рабочих процессов, обеспечивающих получение продукта заданного качества.

В свою очередь рабочий процесс может быть реализован, как правило, различными инженерными средствами путем применения соответствующих научных и практических разработок. Так, например, фильтрационное разделение может быть выполнено в поле гравитации, в поле центробежных сил либо путём создания избыточного давления над фильтрующей перегородкой механическими средствами; радиационный нагрев можно производить, используя электрическую энергию или тепловое излучение химической реакции горения; смешивание и дозирование можно осуществлять порционно или непрерывно. Вопрос, следовательно, заключается в том, какое решение является наиболее рациональным в конкретной технологической ситуации. Инженерное решение, позволяющее провести нужное преобразование обрабатываемого продукта в заданном режиме, назовем **рабочим органом**. Тогда рабочий процесс, средства реализации которого определены, будем считать **технической операцией** и в дальнейшем будем рассматривать именно такие операции. Для технической операции характерно то, что она может быть выполнена соответствующей машиной или аппаратом, созданными на основе рабочего органа.

Границы каждой операции определяются начальной и конечной стадиями ведения рабочего процесса – состояниями, свойствами продукта, с которых начинается обработка и которыми она заканчивается. Все операции можно разделить с учетом характера воздействия на материал на две группы: операции преобразования, направленные на изменение физико-химических свойств продукта, и операции сохранения имеющихся свойств (табл. 1.1.).

**Классификация операций****Таблица 1.1**

Характер воздействия на свойства материалов	Виды операций
1. Преобразование свойств	Изменение структуры
	Изменение состава
	Изменение состояния
	Изменение формы
2. Сохранение свойств	Хранение
	Дозирование
	Ориентация
	Упорядочение
	Контроль
	Прочие операции

Таблица 1.1. Классификация операций

Операции преобразования приводят к созданию новых свойств продуктов путем изменения структуры, состояния, состава или формы. В эту группу входят операции, основанные на процессах измельчения, растворения, нагрева, увлажнения, смешивания, очистки, разделения продуктов, деления, формования, упаковки и пр. Такие операции могут иметь один или несколько входов по числу перерабатываемых материалов и один или несколько выходов по числу выходящих продуктов.

Операции сохранения свойств связаны с процессами дозирования, ориентации, упорядочения, хранения, контроля и не приводят к изменению обрабатываемых материалов. Сюда можно отнести операции весового и объемного дозирования; тарного и бестарного хранения жидких, сыпучих и штучных материалов; маршрутной и пространственной ориентации, упорядочения путем укладки и раскладки, формирования стеков и рядов; контроля свойств, включая браковку, и пр. Операции этой группы обычно имеют один вход и один выход.

**1.3.ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС**

Практическое решение задачи получения пищевого продукта нужного качества становится возможным после определения полного состава операций и установления необходимого количества связей. В этом случае становится ясна не только последовательность изменения качественных характеристик сырья и полуфабрикатов, но и то, каким образом эти характеристики



достигаются. Представление технологии в виде системы операций, а материальных потоков между операциями – в виде связей делает всю технологию “прозрачной”, понятной с точки зрения организации производства. Пооперационное решение технологии назовем **технологическим процессом**.

Физическая обособленность операций и материальный характер производства определяют необходимость использования большого количества связующих технических транспортирующих элементов. Такая необходимость возникает прежде всего тогда, когда изменение физико-химических свойств продуктов осуществляется в стационарном режиме по отношению к технологическому процессу. Сюда можно отнести все операции порционной и партионной обработки при приготовлении раст-воров и смесей, выпечке, брожении, сушке, влаготепловой обработке, охлаждении и т.д. Однако и операции обработки в движении, такие как вальцевание, шелушение, пневмосепарирование, формование, дозирование, осветление суспензий и прочие, при их пространственной обособленности также нуждаются в связях. Отсюда следует, что концентрация операций, комбинирование рабочих процессов позволяют сокращать количество связей.

В любом случае пооперационное решение дает полное представление о путях и методах получения продукции, создает предпосылки для поиска и создания машинно-аппаратных средств реализации технологии.

Наглядное представление о структуре технологического процесса дает его схема. На ней обозначаются все операции, указываются названия и качественные характеристики сырья и выходящих продуктов по аналогии со структурой и схемой технологии (см. рис. 1.2 и 1.3).

С точки зрения формирования структуры технологического процесса все операции делятся на линейные (один вход — один выход), соединительные (много входов — один выход) и разделительные (один вход — много выходов) (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Виды операций в структуре технологического процесса

Связи отображают материальные потоки технологического процесса и на схеме обозначаются соединениями между операциями. Эти связи на практике могут осуществляться различными способами и проводиться разными техническими средствами. Так, сыпучие и штучные материалы перемещаются самотеком, механически или пневматически, жидкости перекачиваются и

двигаются самотеком. В качестве инженерных решений используются трубопроводы, желоба, транспортеры, насосы, вентиляторы, швырялки. Таким образом, связи также являются операциями технологического процесса. Характер их воздействия на материал направлен на сохранение свойств перемещаемых продуктов. Следовательно, их можно отнести к соответствующей группе (см. табл. 1.1) и назвать операциями транспортирования.

Поскольку в большинстве случаев технология может быть воспроизведена несколькими способами, то, естественно, и ее технологический процесс может иметь различный состав операций и связей. Тогда возникает задача сопоставления вариантов и выбора наиболее рационального. Для этого оценивается сложность получаемых систем.

Простейшая оценка учитывает число и сложность основных элементов системы:

$$S = \sum_{i=1}^n S_{\text{эли}} N_{\text{эли}} \quad (1.1)$$

где  $n$  – число типов элементов системы;  $S_{\text{эли}}$  – сложность элемента  $i$ -го типа;  $N_{\text{эли}}$  – число элементов  $i$ -го типа.

Сложность элементов может быть выражена как в технических, так и в качественных или экономических критериях.

Эта зависимость может быть использована на начальном этапе оценки, поскольку не учитывает количество и сложность связей.

Более полная оценка системы должна включать показатели, характеризующие сложность связей. В первом приближении такая оценка включает расчет, основанный на зависимости, устанавливающей соответствие между сложностью элементов системы и сложностью их связей:

$$S_{\text{св}} = a S_{\text{эл}}, \quad (1.2)$$

где  $a$  – относительный коэффициент сложности связей по сравнению со сложностью элементов;  $S_{\text{эл}}$  – сложность элементов.

Параметр  $S_{\text{эл}}$  описывается зависимостью (1.1), т. е.

$$S_{\text{эл}} = \sum_{i=1}^n S_{\text{эли}} N_{\text{эли}} \quad (1.3)$$

Общая оценка сложности системы представляется в виде

$$S = S_{\text{св}} + S_{\text{эл}}. \quad (1.4)$$

Тогда с учетом (1.2) и (1.3) выражение (1.4) принимает вид

$$S = (1 + a) \sum_{i=1}^n S_{\text{ЭЛ}i} N_{\text{ЭЛ}i} \quad (1.5)$$

Здесь необходимо отметить, что в общем случае оценка связей учитывает количество типов связей и сложность каждого типа, т.е. оценка  $S_{\text{СВ}}$  описывается функцией

$$S_{\text{СВ}} = \sum_{j=1}^m S_{\text{СВ}j} N_{\text{СВ}j} \quad (1.6)$$

где  $m$  – количество типов связей;  $S_{\text{СВ}j}$  – сложность связей  $j$ -го типа;  $N_{\text{СВ}j}$  – количество связей  $j$ -го типа.

Тогда, учитывая (1.3), из (1.4) получим

$$S = \sum_{i=1}^n S_{\text{ЭЛ}i} N_{\text{ЭЛ}i} + \sum_{j=1}^m S_{\text{СВ}j} N_{\text{СВ}j} \quad (1.7)$$

Все представленные оценки могут быть получены только в том случае, когда известны их составляющие. Но если количество элементов и связей может быть определено с абсолютной точностью, то значения их сложностей не всегда имеют конкретные меры. Тогда они должны быть выражены сравнительными величинами. Для этого необходимо задаться некоторыми начальными значениями уровней сложности и проранжировать все элементы и связи относительно этих значений. Такое ранжирование может быть выполнено достаточно объективно. Однако оценка, рассчитанная с его помощью, будет иметь смысл не сама по себе, а лишь в соотношении с оценками других систем, вычисленными по этой же методике. Тем не менее именно сопоставление и позволяет сравнивать различные системы и обоснованно выбрать наиболее приемлемые варианты компоновки операций и технологических процессов в целом.

#### 1.4. МАШИННО-АППАРАТНОЕ РЕШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Каждая операция, а тем более технологический процесс, могут быть, как правило, выполнены различными техническими средствами – машинами и аппаратами.

Для подавляющего большинства операций пищевых производств можно найти как минимум несколько рабочих органов, способных обеспечить необходимые качественные параметры. Так, например, разделение сыпучих сред производят на ситах с возвратно-поступательными или круговыми колебаниями, разделение жидких сред — в тарельчатых или камерных сепараторах, центробежное разделение суспензий — на центрифугах с непрерывной или периодической выгрузкой осадка, поверхност-ную обработку

зерновых материалов – на обоечных машинах с радиальным или продольным расположением бичей, непрерывное смешивание сыпучих компонентов – в лопастных или барабанных смесителях и т.д. Рабочий орган или их комбинация, оформленная в виде конкретного конструктивного решения и представленная материальным объектом, является **техническим средством пищевых производств**.

Выбор и компоновка технических средств в соответствии с технологическим процессом создают предпосылки для нахождения машинно-аппаратного решения технологического процесса.

Учитывая возможность объединения рабочих органов в единую конструкцию, обеспечивающую полную переработку сырья в готовую продукцию, можно говорить о том, что машинно-аппаратное решение технологии должно быть соответствующим агрегатом. Хотя, на первый взгляд, такое решение является наиболее простым, оно не может считаться самым лучшим, поскольку становится уникальным. Однако технические средства должны обладать свойствами универсальности и позволять создавать системы различной сложности с разными технологическими возможностями. Таким образом, возникает противоречие между задачами поиска рациональных решений конкретной технологии и созданием универсальных машин и аппаратов, на базе которых можно реализовывать различные технологические процессы. На практике это привело к тому, что предприятия продовольственного машиностроения ориентируются на выпуск либо универсального оборудования для выполнения отдельных операций вне контекста конкретной технологии, либо на производство специализированных агрегатных комплексов направленного применения.

Универсальность машин и аппаратов ограничивает их технические возможности в условиях конкретного технологического процесса. Технически она обеспечивается за счет объединения в машине основного рабочего органа, реализующего, как правило, одну основную операцию, и вспомогательных рабочих органов, создающих условия для ее проведения. Компоновка единой технической системы на базе такого оборудования выполняется в основном за счет применения технических средств, обеспечивающих вспомогательные операции транспортирования и хранения.

Специализация агрегатов, напротив, основана на применении лишь минимального состава рабочих органов. Агрегат уже сам по себе является целостной технической системой, расчленение которой на подсистемы рабочих органов не имеет смысла.

В любом случае и универсальность, и специализация оборудования ограничивают возможности создания multifunctional производств на основе комплекса технологических процессов.

Многofункциональность пищевых производств достигается за счет обеспечения возможности изменения технологического процесса при постоянном составе технических средств. Это означает, что при переходе на обработку нового сырья и выпуск другой продукции должна варьироваться

структура технической системы путем изменения связей между элементами. В результате претерпевают изменения последовательность и общий состав операций. Техническая система приобретает качество гибкости по аналогии с гибкими технологическими модулями машиностроительных предприятий. Понятно, что кардинального изменения технологического процесса быть не может. Такой путь обеспечения многофункциональности возможен на производствах с близкими по структуре технологиями.

Для реализации этого подхода необходимо расчленить весь комплекс операций на стабильные подсистемы, сохраняющие свою структуру при любых обстоятельствах, и установить связи между ними. Например, технологии переработки риса и овса в крупу предполагают применение во многом сходных операций и оборудования. В технологии производства рисовой крупы после очистки выполняется специальная подготовка зерна, включающая фракционирование и отделение камней, затем проводится непосредственно операция выработки крупы: шелушение, шлифование, сортировка и контроль (рис. 1.6).

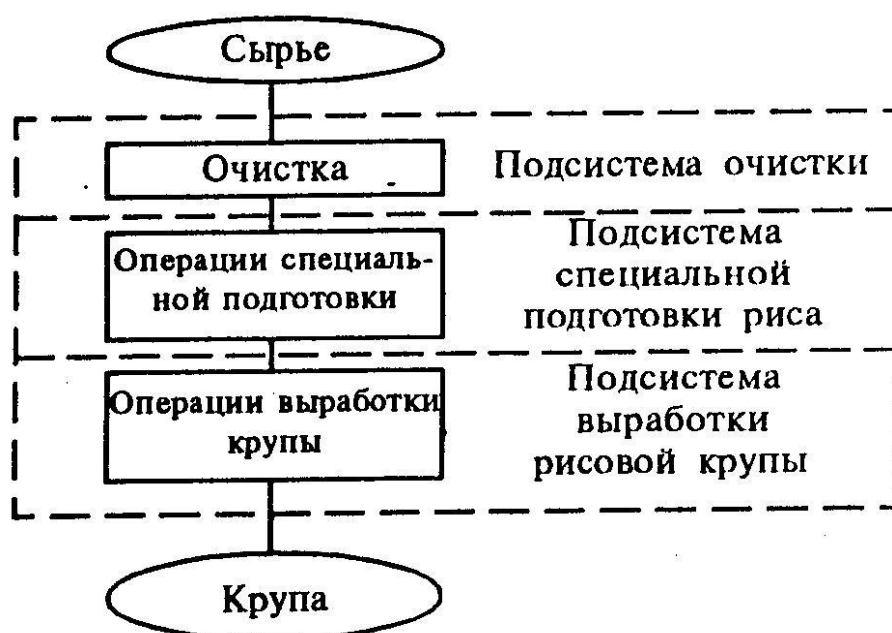


Рис. 1.6. Подсистемы технологии производства рисовой крупы

При переработке овса зерно также предварительно очищается. Специальная подготовка заключается в отделении длинных и коротких примесей, поверхностной и гидротермической обработке. Далее так же, как и при технологии переработки риса, выполняются основные операции для выработки крупы: шелушение, шлифование, сортировка, контроль (рис. 1.7).

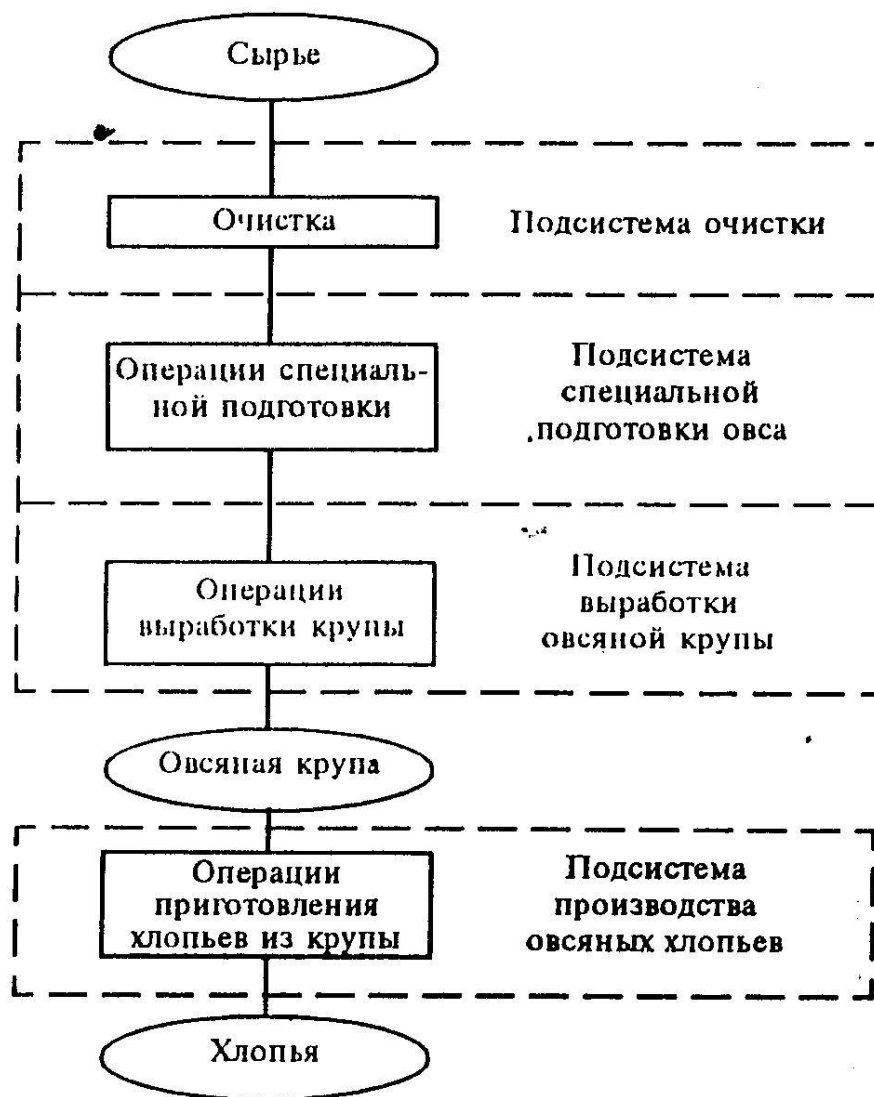


Рис. 1.7. Подсистемы технологии переработки овса

На завершающем этапе овсяная крупа может быть переработана в хлопья.

Выделив в каждой технологии подсистемы идентичных и оригинальных операций, можно сформировать единую технологию и технологический процесс производства круп из риса и овса (рис. 1.8).

Выполнение нужного технологического процесса обеспечивается за счет генерирования соответствующих связей. Учесть это позволяет коэффициент использования связей

$$\delta = \frac{N_{\partial}}{N_o} \quad (1.8)$$

где  $N_{\partial}$  – число действующих связей;  $N_o$  – общее число связей.

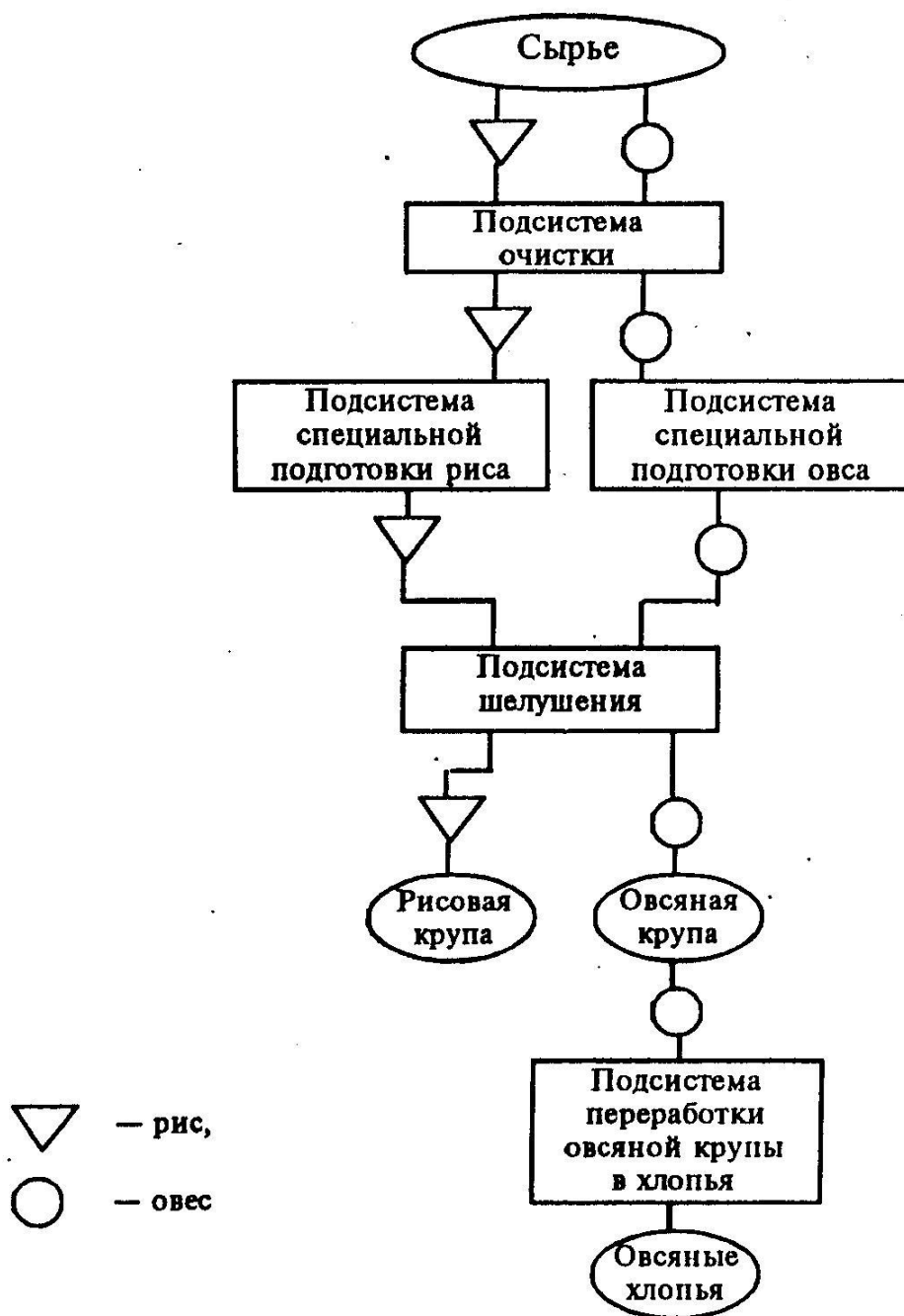


Рис. 1.8 Комбинированная технология переработки риса и овса

В этом случае сложность связей согласно (1.2) составит

$$S_{CB} = a\delta S_{\text{ЭЛ}}, \quad (1.9)$$

а сложность всей системы или отдельных ее вариантов на основе (1.5) опишет функция:

$$S = (1 + a\delta) \sum_{i=1}^n S_{\text{ЭЛ}i} N_{\text{ЭЛ}i} \quad (1.10)$$

Для оценки  $S$  можно также воспользоваться зависимостью (1.7).

Обратной стороной многофункциональности и гибкости является возможное снижение общего объема производства, увеличение числа и повышение квалификации обслуживающего персонала. Однако объективную оценку эффективности дает лишь экономическое обоснование.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что лежит в основе технологии?
2. По каким признакам выделяются технологические операции?
3. На каких принципах осуществляется упорядочение операций?
4. Как формируется поток качественных состояний?
5. Что такое рабочий процесс технологии?
6. Что такое рабочий орган?
7. Что такое техническая операция?
8. Каковы две основные группы операций? В чем их различие?
9. Какие виды операций относятся к операциям преобразования свойств?
10. Какие виды операций относятся к операциям сохранения свойств?
11. Что такое технологический процесс?
12. Как строится схема технологического процесса?
13. Назовите виды операций в структуре технологического процесса.
14. Чем вызвано применение операций транспортирования? К какой группе они относятся?
15. Как оценить систему, учитывая сложность и количество основных элементов?
16. Как оценить сложность связей через сложность элементов?
17. Как выполняется независимая оценка сложности связей?
18. Как оценить сложность системы с учетом сложности элементов и связей?
19. Что такое техническое средство?
20. Что понимается под машинно-аппаратным решением технологического процесса?
21. Каковы преимущества и недостатки агрегатов?
22. Каковы преимущества и недостатки универсальных машин и аппаратов?
23. Как достигается многофункциональность производства?
24. Как учитывается неиспользование части связей при оценке многофункционального производства?



## 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТОК ПРОИЗВОДСТВА

### 2.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ И МАТЕРИАЛЬНЫЙ ПОТОК ОПЕРАЦИИ

Рабочий процесс операции требует определенных технологий и конструкций рабочих органов, а также затрат времени на его проведение.

Технологическая обусловленность затрат связана прежде всего с материальностью объектов обработки и необходимостью полного завершения процесса во всем объеме заданной порции продукта, т. е. достижения нужных качественных параметров. Время, необходимое по технологии на проведение рабочего процесса, называется **технологическим временем операции**.

Затраты времени, связанные с конструкцией рабочих органов, вызваны материальностью последних, наличием физических границ и необходимостью транспортирования продукта через рабочий орган.

Воздействие технических средств на продукт может осуществляться в двух режимах: транспортно и стационарно. При транспортном режиме обработка ведется в процессе перемещения материала через рабочий орган. Подача сырья и выгрузка готовой продукции производятся непрерывно. Соответственно и операция называется **операцией непрерывной обработки**. Время транспортирования в этом случае назначается с учетом технологического времени операции.

Стационарный режим воздействия предполагает, что транспортирование осуществляется до и после обработки. Сначала для ведения рабочего процесса подготавливается определенная порция или партия сырья, для чего рабочий орган снабжается соответствующим накопителем. Затем обрабатывается весь подготовленный материал, и только после этого производится транспортирование за границы рабочего органа, т. е. выгрузка. Выпуск продукции осуществляется периодически. Затраты времени на проведение рабочего процесса в этом случае включают, помимо технологического времени, также периоды накопления и выгрузки. Последние два параметра называются **подготовительно-заключительным временем операции**, а сама операция – **операцией периодической обработки**.

Технологическое и подготовительно-заключительное время операции в сумме составляют технологический цикл операции  $t_{\text{ц}}$ . То есть **технологический цикл** – это время от начала операции до ее завершения:

$$t_{\text{ц}} = t_T + t_3 + t_B, \quad (2.1)$$

где  $t_T$  – технологическое время;  $t_3$  – время накопления;  $t_B$  – время выгрузки.

Для операций, проводимых в транспортном режиме,  $t_3 = t_B = 0$  и  $t_{\text{ц}} = t_m$ .

Общее количество материала  $M_{on}$ , обработанного за время  $t_u$  рабочим органом, определяется путем учета поступающего или отводимого продукта. Материальный баланс операции выглядит следующим образом:

$$M_{on} = M_{on \text{ вх}} = M_{on \text{ вых}},$$

где  $M_{on \text{ вх}}$  – количество поступающего сырья,  $M_{on \text{ вых}}$  – количество выходящего продукта.

Учитывая, что в общем виде на обработку может быть подано несколько видов сырья и получено несколько видов продукции, материальный баланс операции можно записать в виде

$$M_{on} = \sum_{i=1}^n M_{i \text{ вх}} = \sum_{j=1}^m M_{j \text{ вых}} \quad (2.2)$$

где  $n$  – количество видов сырья;  $M_{i \text{ вх}}$  – количество сырья  $i$ -го вида;  $m$  – количество видов продукции;  $M_{j \text{ вых}}$  – количество продукции  $j$ -го вида.

Частным случаем выражения (2.2) являются материальные балансы линейных, соединительных и разделительных операций. Для линейной операции с одним продуктом  $M_{вх} = M_{вых}$ , для операции соединения  $n$  видов

сырья в один продукт  $\sum_{i=1}^n M_{i \text{ вх}} = M_{вых}$ , для операции разделения одного

вида сырья на  $m$  продуктов  $M_{вх} = \sum_{j=1}^m M_{j \text{ вых}}$ . На практике при наличии

нескольких видов сырья и готовой продукции их количество выражается в долях ( $U$ ) или процентах ( $P$ ) от  $M_{on}$ . Тогда, например, для операции соединения будем иметь

$$\sum_{i=1}^n M_{on} U_i = M_{вых}$$

или

$$\sum_{i=1}^n \frac{M_{on}}{100} P_i = M_{вых},$$

где  $U_i$  – доля сырья  $i$ -го вида;  $P_i$  – процент сырья  $i$ -го вида, а для операции разделения

$$M_{ex} = \sum_{j=1}^m M_{on} U_j$$

или

$$M_{ex} = \sum_{j=1}^m \frac{M_{on}}{100} P_j,$$

где  $U_j$  – доля продукта  $j$ -го вида;  $P_j$  – процент продукта  $j$ -го вида.

Причем должны быть обеспечены соотношения

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{j=1}^m U_j = 1$$

и

$$\sum_{i=1}^n P_i = \sum_{j=1}^m P_j = 100.$$

Обработка и перемещение предметов труда по операциям формируют материальный поток. Отнеся любую из величин  $M$  к  $t_u$ , получаем интенсивность потока соответствующего материала

$$q = \frac{M}{t_u}. \quad (2.3)$$

В общем виде величины  $M$  и  $t_u$  не являются постоянными и могут варьироваться при изменении внешних условий, свойств обрабатываемых материалов, конструктивных параметров рабочих органов, способов их эксплуатации и прочих факторов. Соответственно им может меняться и интенсивность потока. Это приводит к неопределенности при функционировании технических систем. Задача, следовательно, заключается в том, чтобы создать предпосылки для поддержания значений  $q$  на постоянном уровне. Одно из направлений ее решения реализуется на стадии проектирования технических систем за счет внедрения организационных приемов поточного производства.

## 2.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТОК

Сырье, поступающее в производство, проходит последовательную пооперационную обработку, постепенно превращаясь в готовую продукцию. В общем случае одновременно может обрабатываться несколько видов сырья и

выпускаться несколько видов продукции. В соответствии с длительностью операционных циклов для каждого вида сырья и каждого вида продукции технологический процесс приобретает некоторую временную протяженность. Период времени от начала и до окончания конкретной последовательности операций в общей структуре технологического процесса называется технологическим циклом данной последовательности. Можно рассмотреть технологический процесс в целом в виде графа с вершинами – сырьем (С), полуфабрикатами (П), готовыми изделиями (И) и связями – операционными циклами ( $t_{ij}$ ) (рис. 2.1).

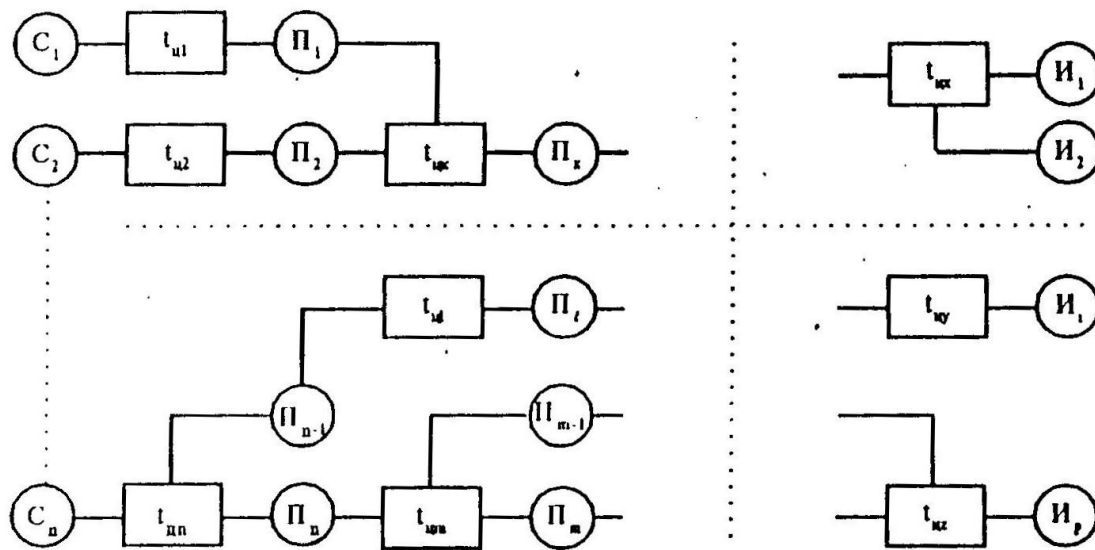


Рис. 2.1. Граф технологического процесса

В нем всегда можно выделить цепь производства основной продукции с наибольшим технологическим циклом, т. е. максимальным суммарным временем выполнения всех операций. Это время называется **циклом технологического процесса**.

Цикличность операций и технологического процесса обуславливает необходимость организации производства на принципах, позволяющих создавать материальный поток предметов труда, обеспечивая оптимальные условия эксплуатации машинно-аппаратных средств. Существует пять основополагающих организационных приемов, способствующих в комплексе решению этой задачи.

Первый из них — **параллельность**, т. е. одновременная обработка сырья и полуфабрикатов различного качества на всех операциях. По завершении обработки каждая порция полуфабриката перемещается на следующую операцию, в технологический процесс подается новая порция сырья и отводится вся готовая продукция. Выполнение этих действий отвечает требованиям второго организационного приема — **непрерывности**.

При параллельном выполнении операций и непрерывной подаче сырья, перемещении полуфабрикатов и отводе готовой продукции в обработке

постоянно находится определенная материальная совокупность предметов труда различного качественного состояния. В первом приближении такую совокупность можно считать технологическим потоком.

Однако создать эффективно действующую технологическую систему с интенсивным использованием машин и аппаратов только при соблюдении принципов параллельности и непрерывности невозможно.

Необходимо учесть, что в общем случае длительность отдельных операций при обработке одного и того же количества материала не совпадает вследствие специфики предмета труда и способов проведения операций конкретными рабочими органами. Это может привести к возникновению межоперационного пролеживания полуфабрикатов и, как следствие, к неравномерности движения технологического потока.

Чтобы этого не происходило, технологические циклы операций прежде всего выравниваются до равных или кратных значений. Цикл, используемый в качестве общего знаменателя, называется **тактом производства**. Тактовая согласованность операционных циклов обеспечивает **пропорциональность** операций – третий организационный прием поточного производства.

Процесс выравнивания циклов имеет смысл только в том случае, если все операции проводятся в установившемся режиме и такт производства остается неизменным в течение длительного времени. Выполнение этого требования является условием, обеспечивающим **ритмичность** потока – четвертый организационный прием. В этом случае количество материала  $M$ , перерабатываемого на операции в единицу времени  $t$ , становится постоянной величиной, и рабочий процесс приобретает стабильный, предсказуемый характер. Интенсивность материального потока операции в установившемся режиме функционирования рабочих органов называется **производительностью**:

$$Q = \frac{M}{t}.$$

Пропорциональность всех операций в технологическом процессе создает условия для их последующей **синхронизации**, т. е. одновременного производства в единицу времени на любой операции такого количества материала, которое необходимо для полной загрузки последующей в течение такого же временного отрезка.

Производительность технологического процесса за время такта  $t_{TK}$  составляет

$$Q = \frac{M_{TK}}{t_{TK}},$$

где  $M_{TK}$  – масса продукции, выпускаемой за время такта.

Синхронизация процесса означает, что выпуск продукции на  $i$ -й операции за время  $t_{TK}$  должен составлять  $M_{TK}U_i$ , а ее производительность

$$Q_i = \frac{M_{TK}U_i}{t_{TK}}, \quad (2.4)$$

где  $U_i$  – доля сырья, обрабатываемого на  $i$ -й операции, от общего количества поступающего в технологический процесс.

Если же время выполнения  $i$ -й операции  $t_{\psi i} > t_{TK}$ , то в соответствии с требованиями пропорциональности оно должно определяться выражением

$$t_{\psi i} = n_i t_{TK}, \quad (2.5)$$

где  $n_i$  – коэффициент пропорциональности,  $n_i = 1, 2, 3, \dots$ .

Тогда производительность операции должна составлять

$$Q'_i = \frac{M_{TK}U_i}{t_{\psi i}}. \quad (2.6)$$

В этом случае для синхронизации процесса необходимо организовать ряд параллельных материальных потоков на такой операции. Их количество определяется соотношением

$$n = \frac{Q_i}{Q'_i}. \quad (2.7)$$

Можно также в  $n$  раз увеличить производительность операции. Из (2.7), учитывая 2.4, 2.5 и 2.6, получим

$$n = n_i.$$

Синхронность операций является пятым организационным приемом поточного производства, реализация которого обеспечивает постоянство, стабильность, строгую детерминированность материального потока полуфабрикатов в технологическом процессе. Упорядоченная на принципах параллельности, непрерывности, пропорциональности, ритмичности и синхронности совокупность предметов труда называется **технологическим потоком**.

Технологический поток служит организационной основой создания высокоэффективных производственных технических систем, получивших название поточных технологических линий.

### 2.3. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПОТОЧНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Материальность технологического потока производственных систем позволяет анализировать его как единое целое, либо выделять и рассматривать отдельные элементы, которыми могут быть потоки конкретных производственных участков этих систем.

Начальными элементами потока процесса всегда являются сырье и материалы, конечными – готовая продукция и отходы. Начальными элементами потоков участков могут быть как сырье, так и полуфабрикаты. Однако независимо от этого материальный баланс потока должен сохраняться: количество сырья или полуфабрикатов, поступивших на начальные операции процесса, должно быть равно количеству готовых продуктов и отходов. Исходя из этого, условие материального баланса имеет вид

$$Q_{i\text{вх}} = Q_{i\text{вых}},$$

где  $Q_{i\text{вх}}$  – суммарная производительность операций на входе  $i$ -го участка технологического процесса;  $Q_{i\text{вых}}$  – суммарная производительность операций на выходе  $i$ -го участка технологического процесса;

$$Q_{i\text{вх}} = \sum_{k=1}^n Q_{ik}$$

и

$$Q_{i\text{вых}} = \sum_{l=1}^m Q_{il},$$

где  $n$  – количество потоков, входящих в  $i$ -й участок;  $Q_{ik}$  – производительность  $k$ -й операции на входе в  $i$ -й участок;  $m$  – количество потоков, выходящих из  $i$ -го участка;  $Q_{il}$  – производительность  $l$ -й операции на выходе из  $i$ -го участка.

Технологический поток участка можно представить в графическом виде как совокупность материальных потоков операций (рис. 2.2).

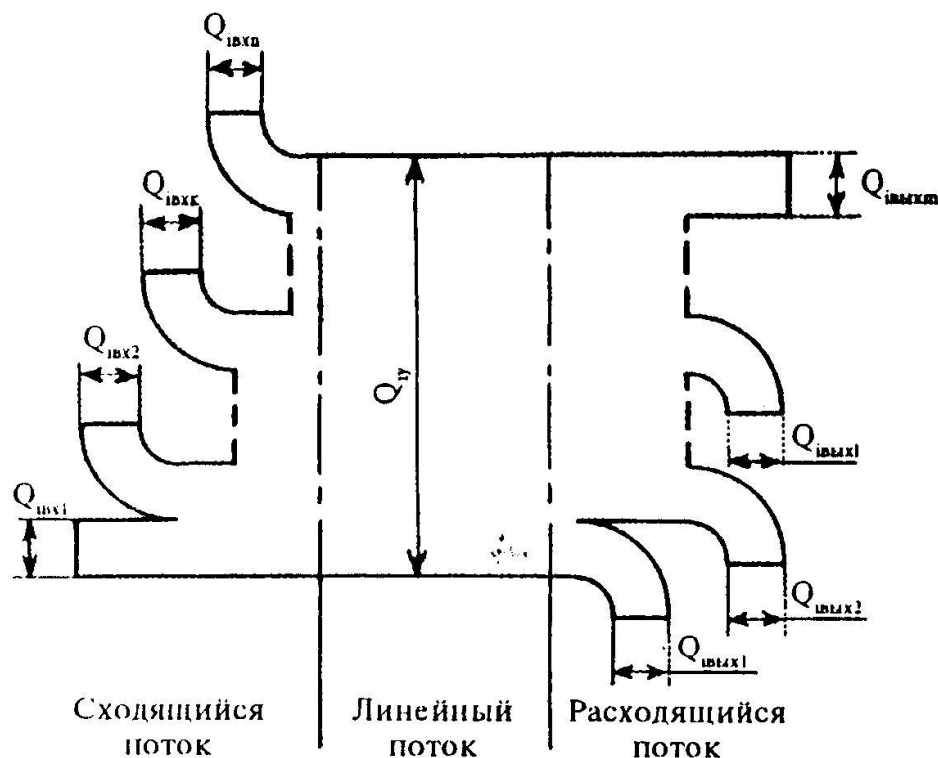


Рис. 2.2. Технологический поток участка

Учитывая, что  $Q_{ивхк} = Q_{iy}U_{ik}$ ,  $Q_{ивых} = Q_{iy}U_{il}$ , где  $Q_{iy}$  – производительность участка;  $U_{ik}$  – доля  $k$ -го вида сырья в потоке участка;  $U_{il}$  – доля  $l$ -го вида продукции в потоке участка, получаем

$$\sum_{k=1}^n U_{ik} = \sum_{l=1}^m U_{il}.$$

Это же решение справедливо и для процесса в целом. Тогда при  $p$  видах сырья, каждый из которых составляет долю  $U_k$  в общем количестве, и  $q$  видах продукции, доля каждого из которых составляет  $U_l$  в общем выходе, получим

$$\sum_{k=1}^p U_k = \sum_{l=1}^q U_l.$$

Отношение операций к материальной целостности потока соответствует тому, являются ли они линейными, соединительными или разделительными. Линейные операции получают и передают поток как единое целое. Для них характерно соотношение

$$U_{ивх} = U_{ивых} = 1.$$



Соединительные операции формируют из нескольких входящих потоков один. Следовательно,

$$\sum_{k=1}^n U_{ik} = 1_{вх}.$$

Разделительные операции образуют из одного потока на входе несколько выходящих. Для них имеет место равенство

$$1_{вх} = \sum_{l=1}^m U_{il}.$$

Соответственно наличию тех или иных операций классифицируются структуры технологических процессов и потоков как линейные, сходящиеся, расходящиеся и комбинированные (см. рис. 2.2). Последний может содержать в своей структуре как соединительные, так и разделительные операции.

Структура потока учитывается при проектировании предприятий в расчетах, связанных с выбором оборудования, при создании технологических производственных систем и проектировании транспортных коммуникаций.

## 2.4. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА

В условиях реального производства рабочие периоды машин и аппаратов чередуются с периодами простоя, восстановления работоспособности и регулировок, когда продукция не выпускается. Простои вызываются производственными причинами при несогласованности в работе или авариями. После аварий выполняются работы по восстановлению работоспособности и настройке оборудования на заданный режим эксплуатации. Простои также могут быть связаны с необходимостью выполнения профилактического обслуживания или планового ремонта. В любом случае при этом нарушается материальный баланс процесса и снижается общий выпуск продукции. Следовательно, на стадии создания технических средств и технологических систем необходимо предусмотреть технические резервы для обеспечения материального баланса технологических процессов.

В течение некоторого жизненного цикла производства время нормальной эксплуатации составляет

$$t_{\exists} = t_{ж} - t_n, \quad (2.8)$$

где  $t_{ж}$  — период жизненного цикла;  $t_n$  — суммарное время простоя и восстановления работоспособности.

Выпуск продукции за это время достигает  $M_0$ .

В общем случае при  $n$  периодах эксплуатации и  $m$  периодах простоя в течение  $t_{ж}$  имеем

$$t_{э} = \sum_{i=1}^n t_{эi} \quad \text{и} \quad t_n = \sum_{j=1}^m t_{nj},$$

где  $i$  — номер периода работы,  $j$  — номер периода простоя.

Учитывая, что работающее с постоянной производительностью  $Q_T$  техническое средство вырабатывает продукцию в режиме  $M = Q_T t$ , график выпуска можно представить в виде ломаной линии (рис. 2.3).

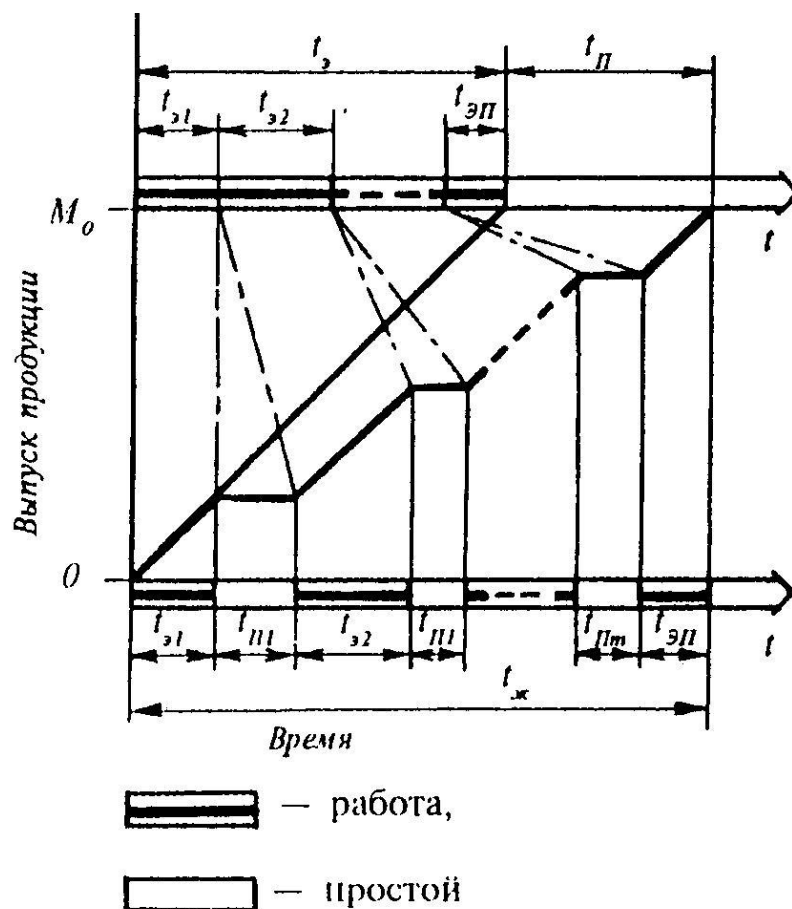


Рис. 2.3. Динамика выпуска продукции с учётом простоев

Тогда для периода  $t_{ж}$   $Q_T = \frac{M_o}{t_{э}}$  или согласно (2.8)

$$Q_T = \frac{M_o}{t_{ж} - t_n}. \quad (2.9)$$

Поскольку материальный баланс процесса обусловлен потребной производительностью операции  $Q_{оп}$ , то можно записать

$$M_o = Q_{on} t_{жс} . \quad (2.10)$$

Тогда, подставляя (2.10.) в (2.9.), получим

$$Q_T = \frac{Q_{on} t_{жс}}{t_{жс} - t_n} . \quad (2.11)$$

На практике  $t_n$  выражается в долях от  $t_{жс}$  в виде  $t_n = \eta_n t_{жс}$  ,  
где  $\eta_n$  – коэффициент простоев.

С учетом выражение (2.11) принимает вид

$$Q_T = \frac{Q_{on}}{1 - \eta_n} .$$

Здесь знаменатель отражает чистое время работы в течение  $t_{жс}$  и называется **коэффициентом использования технической производительности рабочего органа** или просто **коэффициентом использования**:

$$\eta = (1 - \eta_n)$$

Тогда

$$Q_T = \frac{Q_{on}}{\eta} . \quad (2.12)$$

Введение коэффициента использования рабочего времени создает условия для общей синхронизации всех операций технологического процесса с учетом производственных условий. Такая синхронизация предполагает возможность переработки без остатка заданного количества материала  $M_C$  за определенное время  $t_C$  – цикл синхронизации. Причем,  $M_C = \frac{M_o}{\kappa}$

$$t_C = \frac{t_{жс}}{\kappa} , \quad (2.13)$$

где  $\kappa$  – количество циклов синхронизации,  $\kappa = 1, 2, \dots$

На практике численное значение  $t_C$  определяется исходя из конкретной технологической или технической ситуации. Это может быть технологическое время (для операций непрерывной обработки), операционный цикл периодической обработки, такт производства, час, сутки и т.д.

Выражение (2.12) используется для обоснования параметров рабочего органа. Исходить при этом нужно из того, что, согласно 2.10, 2.12 и 2.13

$$Q_T = \frac{M_c}{t_c \eta}.$$

Удобно принять  $t_c = t_u$ , поскольку величина  $t_u$  объективно обусловлена свойствами обрабатываемого материала и принятой технологией обработки. Отсюда можно сделать вывод, что задача технического обеспечения материального баланса сводится к нахождению  $M_c$  и выбору соответствующих значений параметров рабочих органов, позволяющих достичь расчетной величины  $Q_T$ .

Обрабатываемый материал может представлять собой неструктурированную массу сыпучего или жидкого сырья, а также находиться в виде штучных заготовок. В совокупности с двумя режимами обработки – транспортным и стационарным – это обстоятельство определяет четыре способа нахождения  $M_c$ .

Стационарная обработка порции неструктурированного материала осуществляется в специально предназначенном для этого накопителе. В него загружается определенный объем материала  $V$ , поэтому масса порции составляет

$$M_{csh} = V\gamma,$$

где  $\gamma$  – объемная масса материала.

При стационарной обработке штучных заготовок учитывается объем партии  $N_{шт}$  – т. е. количество заготовок, загружаемых в накопитель одновременно, и масса одной заготовки  $m$ . Тогда масса всей партии составит

$$M_{cшт} = N_{шт}m.$$

Неструктурированный материал в транспортном режиме обрабатывается непрерывным потоком. При установившейся подаче и воздействии рабочим органом площадь сечения потока  $F$  остается неизменной (рис. 2.4). С ее учетом операционная масса составляет

$$M_{cmn} = FL\gamma,$$

где  $L$  – длина пути, на котором происходит обработка.

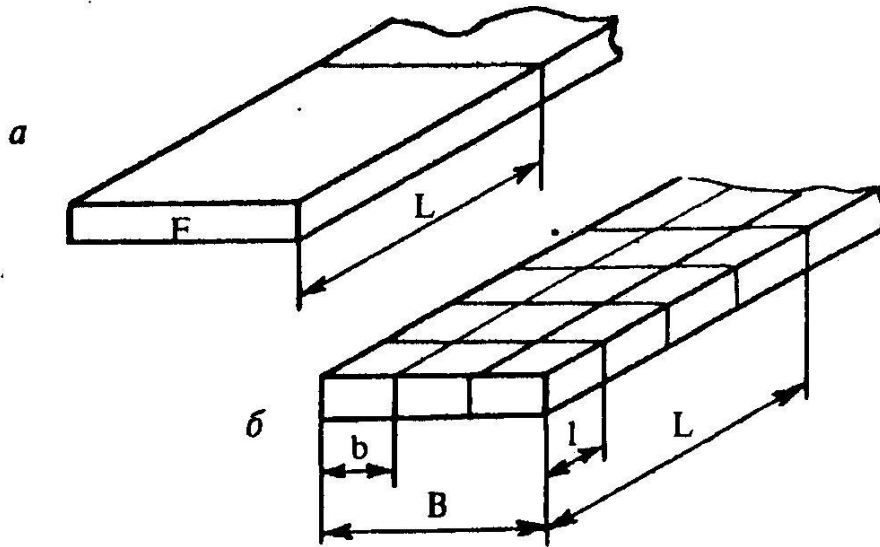


Рис.2.4. Схема прохождения материальных потоков операций транспортной обработки

Структурированный материал подается на операцию транспортной обработки регулярным потоком с четко ориентированными в пространстве заготовками (см. рис. 2.4). Общая масса заготовок, одновременно находящихся под воздействием рабочего органа, составляет

$$M_{смш} = \frac{mLB}{lb},$$

где  $l$  – шаг расположения заготовок по длине;  $B$  – ширина рабочего органа;  $b$  – шаг расположения заготовок по ширине.

Операционное время при транспортной обработке материалов соответствует технологическому, поэтому производительность рабочих органов таких операций можно определить следующим образом:

для неструктурированного материала

$$Q_{мн} = \frac{FL\gamma}{\eta t_T}, \text{ или } Q_{мн} = Fv\gamma;$$

для потока штучных заготовок

$$Q_{смш} = \frac{mLB}{\eta l b t_T}, \text{ или } Q_{смш} = \frac{mBv}{\eta l b},$$

где  $v$  – скорость движения материала.

Отсюда следует, что установившийся режим непрерывной обработки характеризуется прежде всего постоянной скоростью движения потока и его

неизменным сечением или взаимным расположением заготовок, а также стабильной массой штучных заготовок. Эти параметры и следует определять при расчетах  $Q_T$ .

Стационарный режим обработки предполагает необходимость дополнительных затрат времени на подготовку и завершение рабочего процесса. С учетом этого производительность рабочего органа при работе с неструктурированным материалом

$$Q_{CH} = \frac{V\gamma}{\eta(t_T + t_z + t_e)}.$$

При работе со штучными заготовками производительность  $Q_{CH}$  составит

$$Q_{CH} = \frac{N_{ш}}{\eta(t_T + t_z + t_e)}.$$

Единственным параметром в этих зависимостях, который не подлежит корректировке, является технологическое время операции  $t_T$ . Значение связано с физико-механическими свойствами продукта, а величина  $t$  может быть связана как со свойствами сырья, так и с качественными характеристиками готового продукта. Из этого следует, что основными параметрами, подлежащими выбору и расчету при согласовании технической производительности рабочего органа  $Q_T$  с потребной производительностью операции  $Q_{оп}$ , являются емкость накопителя и структура подготовительно-заключительного времени.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое “технологическое время операции”?
2. Что такое “транспортный режим воздействия на продукт”?
3. Что такое “операция непрерывной обработки”?
4. Чем характеризуется стационарный режим воздействия?
5. Что такое “подготовительно-заключительное время операции”?
6. Что такое “операция периодической обработки”?
7. Что такое “технологический цикл операции”?
8. Как определяется материальный баланс операции?
9. Как рассчитывается материальный баланс сходящихся и расходящихся операций?
10. Что такое “интенсивность потока продукции”?
11. Что такое “технологический цикл”?
12. Что понимается под параллельностью операций?

13. Что понимается под непрерывностью потока?
14. Что понимается под пропорциональностью операций?
15. Что понимается под ритмичностью потока?
16. Что такое “производительность потока”?
17. Что понимается под синхронизацией потока?
18. Какими средствами обеспечивается синхронность операций?
19. Что такое “технологический поток”?
20. Как связана производительность операций с материальным балансом технологического потока?
21. Как классифицируются структуры технологических потоков?
22. Что такое “время простоев”?
23. Что такое “эксплуатационное время”?
24. Как определяется эксплуатационное время?
25. Как определяется техническая производительность рабочего органа?
26. Что такое “коэффициент простоев”? Как он определяется?
27. Что такое “коэффициент использования технической производительности”? Как он определяется?
28. Как рассчитывается производительность при транспортной обработке неструктурированного материала?
29. Как рассчитывается производительность при транспортной обработке структурированного материала?
30. Каков основной кинематический признак установившегося режима транспортной обработки?
31. Как рассчитывается производительность при стационарной обработке неструктурированного материала?
32. Как рассчитывается производительность при стационарной обработке структурированного материала?
33. Какие основные технические и организационные параметры влияют на производительность операции периодической обработки?

### 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТОКА

#### 3.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТОК УЧАСТКА С ОПЕРАЦИЯМИ НЕПРЕРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ

Объединение машин и аппаратов в техническую систему может привести к межоперационным колебаниям материального содержания технологического потока. Эти колебания вызываются несовпадениями во времени периодов работы и простоя следующих друг за другом технических средств. Рассогласованность простоев приводит к сокращению выпуска продукции и общему снижению производительности системы.

В общем случае на двух следующих друг за другом  $j$ -й и  $(j + 1)$ -й операциях за время  $t_c$  синхронизации должно быть переработано равное количество  $i$ -го материала  $M_{cy}$ :

$$M_{cy} = M_c U_i = M_{jc} = M_{(j+1)c},$$

где  $M_c$  – общий выпуск продукции системой;  $U_i$  – доля  $i$ -го материала в общем потоке;  $M_{jc}$  – выпуск продукции на  $j$ -й операции;  $M_{(j+1)c}$  – выпуск продукции на  $(j+1)$ -й операции. Причем

$$\begin{aligned} M_{jc} &= Q_{Tj} t_c \eta_j; \\ M_{(j+1)c} &= Q_{T(j+1)} t_c \eta_{(j+1)}, \end{aligned}$$

где  $Q_{Tj}$  и  $Q_{T(j+1)}$  – соответственно производительность  $j$ -го и  $(j+1)$ -го рабочих органов;  $\eta_j$  и  $\eta_{(j+1)}$  – коэффициенты использования рабочих органов за время  $t_c$ .

Здесь коэффициенты  $\eta_j$  и  $\eta_{(j+1)}$  составляют:

$$\begin{aligned} \eta_j &= \frac{t_{\Delta j}}{t_{\Delta j} + t_{\Pi j}}; \\ \eta_{(j+1)} &= \frac{t_{\Delta(j+1)}}{t_{\Delta(j+1)} + t_{\Pi(j+1)}}, \end{aligned}$$

где  $t_{\Delta j}$  и  $t_{\Delta(j+1)}$  – время использования рабочих органов  $j$ -й и  $(j+1)$ -й операций;  $t_{\Pi j}$  и  $t_{\Pi(j+1)}$  – время простоя рабочих органов  $j$ -й и  $(j+1)$ -й операций.



Учитывая это, можно отметить, что выпуск продукции будет происходить только тогда, когда совпадут периоды использования обоих рабочих органов. Производительность участка в этом случае ограничивается меньшей из двух производительностей рабочих органов  $Q_{min}$ . Тогда выпуск продукции на участке за время  $t_c$  составит

$$M_{cy} = Q_{min} t_p ,$$

где  $t_p$  – время совместной работы.

$$t_p = \sum_{l=1}^k t_{pl} ,$$

где  $k$  – количество периодов совместной работы;  $t_{pl}$  – длительность  $l$ -го периода совместной работы.

Поскольку  $t_p < t_c$ , то соответственно

$$M_{cy} < M_c U_i .$$

Функционирование участка с рассогласованием двух периодов выпуска продукции на  $j$ -й операции и одного на  $(j+1)$ -й изображено на рис. 3.1. Здесь представлена динамика проектного выпуска продукции на  $j$ -й –  $M_{jc}(t)$  и  $(j+1)$ -й –  $M_{(j+1)c}(t)$  операциях, а также реального выхода продукции  $M_{cy}(t)$ .

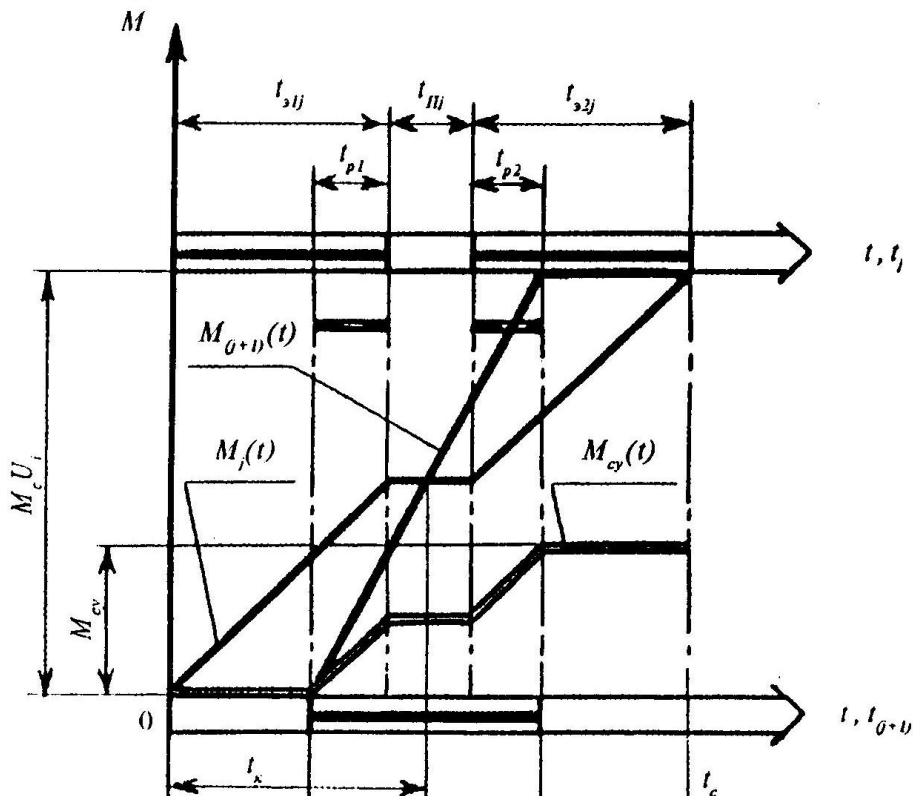


Рис. 3.1. Выпуск продукции на участке при рассогласовании периодов работы операций

Периоды работы и простоя чаще всего являются регулярными и прогнозируемыми. Это позволяет организовать совместное выполнение операций за счет введения между ними дополнительной, не предусмотренной технологией операции компенсирования материального потока. Ее функции состоят в сборе производимого на предыдущей операции нерасходуемого материала в периоды, когда  $M_j(t) > M_{j+1}(t)$ , и полной загрузке последующей в периоды, когда  $M_j(t) < M_{j+1}(t)$ . В качестве рабочего органа-компенсатора используются различные накопители. Так, для накопления продукции, хранимой насыпью, чаще всего используются бункеры. Для штучных заготовок может быть применен специальный накопитель, позволяющий размещать и хранить изделия в упорядоченном виде.

В общем случае  $j$ -я операция формирует поток подачи  $M_{II} = M_j(t)$ , а  $(j+1)$ -я – поток расхода  $M_p = M_{j+1}(t)$ . Работу операции компенсирования можно представить в виде функции, отражающей изменение регулирующей массы  $\Delta M$  в течение цикла  $t_c$ . Тогда

$$\Delta M = M_{II} - M_p \text{ или}$$

$$\Delta M(t) = M_j(t) - M_{j+1}(t).$$

Если в течение цикла наступает критический момент времени  $t_k$ , после которого разность  $M_{II}$  и  $M_p$  должна стать отрицательной величиной, то в этом случае компенсатор следует до начала работы загрузить материалом в необходимом для нормального функционирования операций количестве.

Для случая, представленного на рис. 3.1, график зависимости  $\Delta M = f(t)$  имеет вид, изображенный на рис. 3.2.

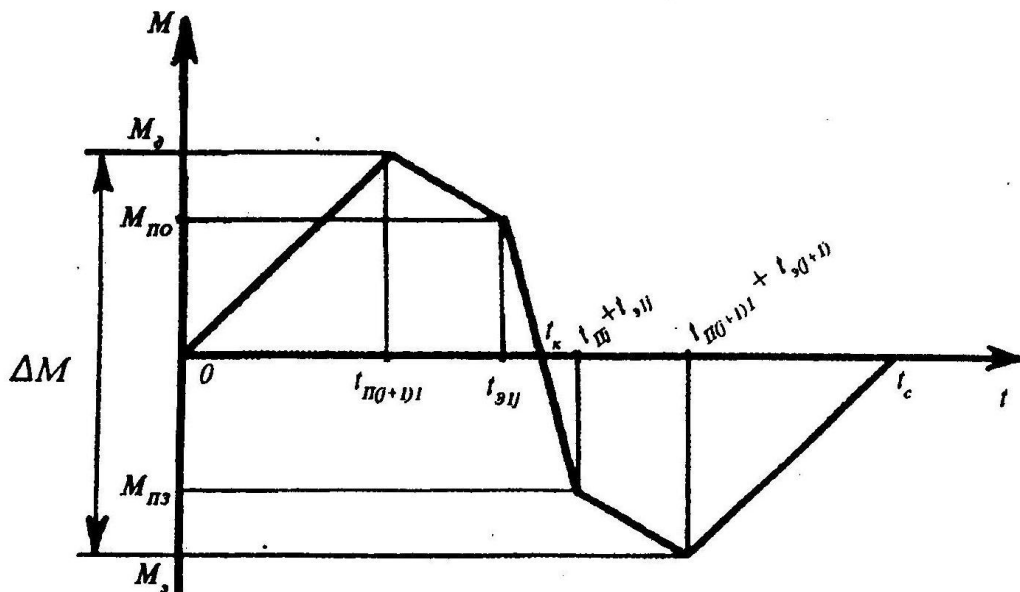


Рис. 3.2. Работа компенсирующей операции

Здесь  $M_{\partial}$  – значение, характеризующее дополнительную подачу в компенсатор:

$$M_{\partial} = M_{jc} \left| t_{\Pi(j+1)1} \right|.$$

$M_{\Pi O}$  – значение, отмечающее окончание предварительного опорожнения компенсатора при одновременных подаче и расходе:

$$M_{\Pi O} = M_{jc} \left| t_{\mathcal{E}j1} - M_{(j+1)c} \right| t_{\mathcal{E}1j}.$$

$M_{\Pi 3}$  – значение, отмечающее окончание предварительного опорожнения компенсатора при отсутствии подачи:

$$M_{\Pi 3} = M_{jc} \left| (t_{\mathcal{E}j1} + t_{\Pi j}) - M_{(j+1)c} \right| (t_{\mathcal{E}1j} + t_{\Pi j}).$$

$M_3$  – значение, характеризующее потребную предварительную загрузку компенсатора до начала работы

$$M_3 = M_{jc} \left| (t_{\Pi(j+1)1} + t_{\mathcal{E}(j+1)}) - M_{(j+1)c} \right| (t_{\Pi(j+1)1} + t_{\mathcal{E}(j+1)}).$$

Емкость компенсатора должна быть достаточной для хранения максимального количества регулирующей массы  $\Delta M_{max}$ .

График работы компенсатора для рассматриваемого случая представлен на рис. 3.3.

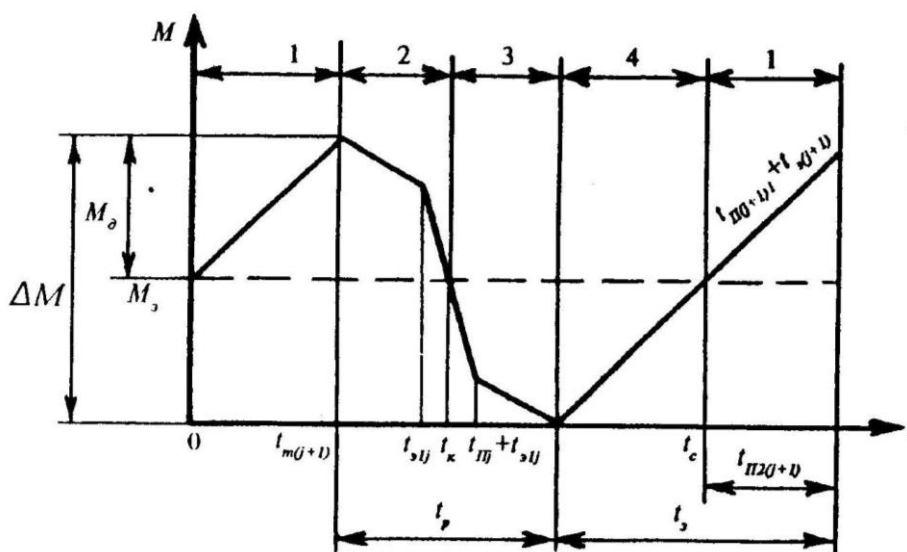


Рис. 3.3. Работа компенсатора

На участке 1 происходит заполнение накопителя дополнительным количеством материала сверх  $M_3$ , а на участке 2 – расходование этого материала. Участок 3 соответствует использованию запаса  $M_3$ , а участок 4 – его восстановлению. По окончании четвертого участка цикл работы накопителя повторяется. Таким образом, цикл накопителя может быть разбит на периоды заполнения (4 и 1 совместно) и выгрузки (2 и 3 совместно) материала. В общем случае помимо этих периодов в цикле работы компенсатора могут быть периоды хранения –  $t_{xp}$ , когда количество материала в накопителе не изменяется, и технологического простоя –  $t_{II}$ , когда текущий запас в накопителе отсутствует (рис. 3.4).

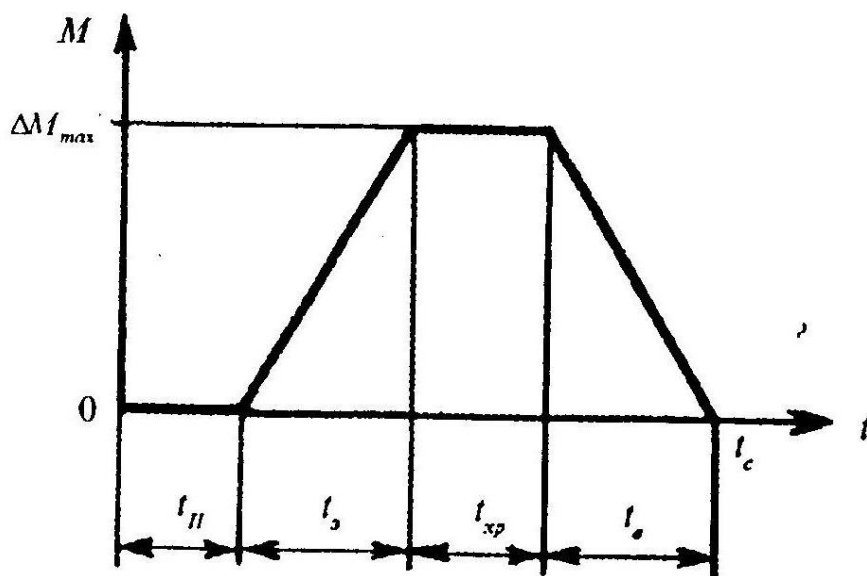


Рис. 3.4. Типичные периоды в цикле работы компенсатора

### 3.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТОКА УЧАСТКА С ОПЕРАЦИЯМИ НЕПРЕРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ

На практике необходимость установки компенсаторов чаще всего возникает в системах с машинами и аппаратами, у которых не совпадают моменты включения, различается производительность, а также в случаях одновременного наличия этих двух обстоятельств. Тогда решается задача организации технологического потока путем расчета и установки компенсатора для каждого проблемного участка, определения длительности цикла синхронизации  $t_c$  или его составляющих. Расчеты проводятся с учетом обеспечения наиболее рациональной загрузки машинно-аппаратных средств основных технологических операций, когда компенсатор работает постоянно (загружается или опорожняется, периоды технологического простоя и хранения отсутствуют).

В реальных условиях бункер или накопитель, компенсирующей операции, снабжается выгрузным устройством (ВУ), которое позволяет формировать поток расхода заданной интенсивности. Это устройство включается тогда, когда начинают функционировать следующие по технологическому процессу машины или аппараты, и выключается вместе с ними. Поэтому можно записать:

$$M_{\text{в}} = M_{\text{р}},$$

где  $M_{\text{в}}$  – поток выгрузного устройства, причем

$$M_{\text{в}} = Q_{\text{в}} t_{\text{э}} (j+1), \quad M_{\text{р}} = Q_{\text{р}} t_{\text{э}} (j+1),$$

где  $Q_{\text{в}}$  – техническая производительность выгрузного устройства;  $Q_{\text{р}}$  – техническая производительность рабочих органов, для которых формируется поток расходов. Следовательно,  $Q_{\text{в}} = Q_{\text{р}}$ , т. е. выгрузное устройство, можно рассматривать в качестве потребителя.

Таким образом, участок технической системы с операциями непрерывной обработки, на котором возникает необходимость демпфирования материального потока, включает питатель, формирующий поток подачи, и компенсатор, состоящий из накопителя и выгрузного устройства. ВУ формирует поток расхода и выступает в качестве потребителя (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Участок технической системы с компенсатором

Участок можно охарактеризовать техническими и организационными параметрами. В качестве технических параметров используется производительность питателя –  $Q_{\text{п}}$  и выгрузного устройства –  $Q_{\text{в}}$ , а также емкость накопителя  $M_{\text{к}}$ . Производители могут быть равны или различаться в большую либо меньшую сторону друг от друга. Организационные параметры учитывают соотношения моментов включения питателя и ВУ. Они могут совпадать или не совпадать, причем в последнем варианте интерес представляет случай, когда момент включения ВУ откладывается. В совокупности технические и организационные параметры образуют шесть возможных режимов работы участка (табл. 3.1).

Таблица 3.1

## Режимы работы участка с компенсатором

Соотношение моментов включения питателя и ВУ	Соотношение производительности питателя $Q_{\Pi}$ и ВУ $Q_{\theta}$		
	$Q_{\Pi} = Q_{\theta}$	$Q_{\Pi} < Q_{\theta}$	$Q_{\Pi} > Q_{\theta}$
	1	2	3
Одновременно	1.1	1.2	1.3
С задержкой ВУ	2.1	2.2	2.3

Таблица 3.1. Режимы работы участка с компенсатором

В общем случае количество материала в накопителе определяется зависимостью

$$\Delta M(t) = M_{\Pi}(t) - M_{\theta}(t),$$

где  $M_{\Pi}(t) = Q_{\Pi} t_{\Pi}$  – количество материала, поданное питателем;  $M_{\theta}(t) = Q_{\theta} t_{\theta}$  – количество материала, израсходованное потребителем;  $t_{\Pi}$  – время работы питателя;  $t_{\theta}$  – время работы ВУ.

За время цикла синхронизации питатель получает, а потребитель расходует равное количество материала:

$$M_{\Pi}(t_c) = M_{\theta}(t_c) = M_y(t_c) = Q_y t_c.$$

Поэтому к концу цикла  $\Delta M$  обращается в нуль. Рассмотрим каждый режим в отдельности.

**Р е ж и м 1. 1.** Равенство производительностей при  $t_{\Pi} = t_{\theta}$  означает, что всегда имеет место и равенство  $M_K = (Q_{\Pi} - Q_{\theta}) t_{\Pi} = 0$ . Следовательно, для организации технологического потока участка компенсатор не нужен. Однако он может быть использован в том случае, когда на участке установлен рабочий орган, который не отключается во время аварии или мгновенная остановка которого невозможна. Если таким рабочим органом является питатель, то компенсатор служит для накопления произведенной им продукции в тот период, когда потребитель не работает. В случае, когда не отключается потребитель, компенсатор применяется для постоянного хранения аварийного

запаса полуфабриката, который должен поступить в переработку после аварийной остановки питателя. Емкость накопителя

$$M_A = Q_A t_A ,$$

где  $Q_A$  – производительность рабочего органа, который не отключается во время аварии;  $t_A$  – время накопления или потребления аварийного запаса.

Р е ж и м 1. 2. Соотношение  $Q_{\Pi} < Q_{\text{в}}$  означает, что при одновременном включении питателя и потребителя последний работает с неполной загрузкой. Увеличение нагрузки на потребитель достигается за счет отсрочки момента его включения и применения компенсатора для подготовки порции материала, обеспечивающей полную загрузку потребителя по производительности (рис. 3.6).

В этом случае для цикла продолжительностью  $t_c$  имеем

$$M_{\Pi c} = Q_{\Pi} t_c.$$

$$M_{\text{вс}} = Q_{\text{в}} (t_c - t_3) = Q_{\text{в}} t_{\text{в}},$$

где  $t_3$  – время задержки включения потребителя.

Тогда, приравнявая  $M_{\Pi c}$  и  $M_{\text{вс}}$ , получим

$$t_3 = \frac{(Q_{\text{в}} - Q_{\Pi}) t_c}{Q_{\text{в}}} . \quad (3.1)$$

Емкость накопителя  $M_K = Q_{\Pi} t_3$ .

Время работы  $t_{\text{в}}$  с учетом задержки определяется из соотношения

$$t_{\text{в}} = t_c - t_3 \quad \text{или с учетом (3.1):}$$

$$t_3 = t_c \left( 1 - \frac{Q_{\text{в}} - Q_{\Pi}}{Q_{\text{в}}} \right)$$

Работу участка иллюстрирует график, представленный на рис. 3.6.

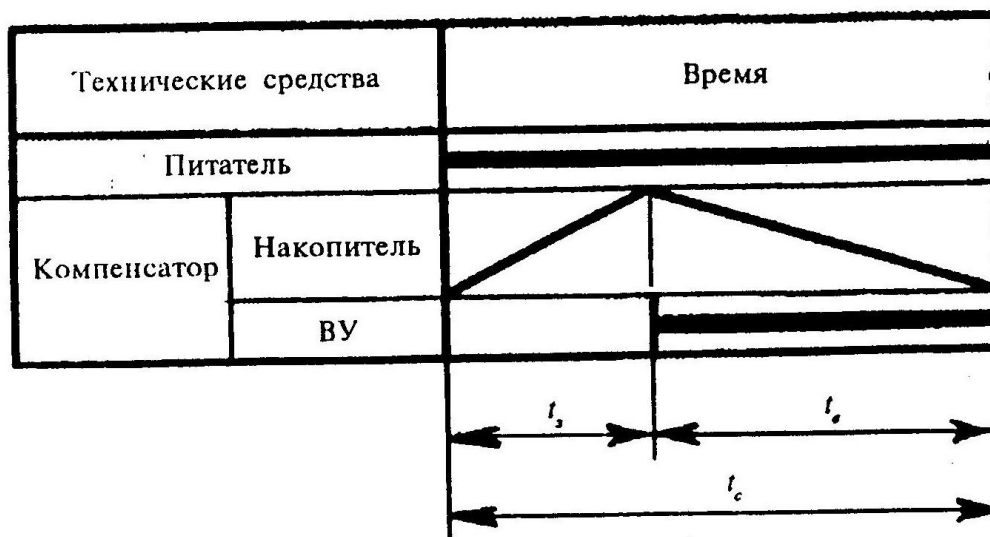


Рис. 3.6. График работы участка при  $Q_{\Pi} < Q_{в}$  и необходимости полной загрузки потребителя по производительности

Р е ж и м 1. 3. Превышение производительности питателя  $Q_{\Pi}$  над производительностью ВУ  $Q_{в}$  приводит к тому, что после включения потребитель должен работать с перегрузкой (рис. 3.7). Для обеспечения нормальной загрузки потребителя часть производимой питателем продукции должна быть отделена от потока и запасена в компенсаторе. Поток подачи питателя  $M_{\Pi} = Q_{\Pi} t$ .

Потребление происходит в количестве  $M_{в} = Q_{в} t$ . Следовательно, накопление осуществляется в количестве  $\Delta M = M_{\Pi} - M_{в}$  или  $\Delta M = (Q_{\Pi} - Q_{в}) t_{\Pi}$ .

Общее количество материала, произведенное питателем за время цикла  $M_{\Pi c}$ , соответствует количеству, использованному потребителем  $M_{в}$ . Если принять, что потребитель работает непрерывно в течение цикла синхронизации, т. е.  $M_{в c} = Q_{в} t_c$ , то время работы питателя  $t_{\Pi}$  можно определить из равенства

$$Q_{в} t_c = Q_{\Pi} t_{\Pi}.$$

Тогда

$$t_{\Pi} = \frac{Q_{в} t_c}{Q_{\Pi}}. \quad (3.2)$$



Заполнение компенсатора происходит при работе питателя, следовательно, емкость накопителя  $M_K = (Q_{\Pi} - Q_{\text{в}}) t_{\Pi}$ . Откуда с учетом (3.2)

$$M_K = (Q_{\Pi} - Q_{\text{в}}) \frac{Q_{\text{в}} t_c}{Q_{\Pi}}. \quad (3.3)$$

Графически работа участка в режиме 1.3 представлена на рис. 3.7.

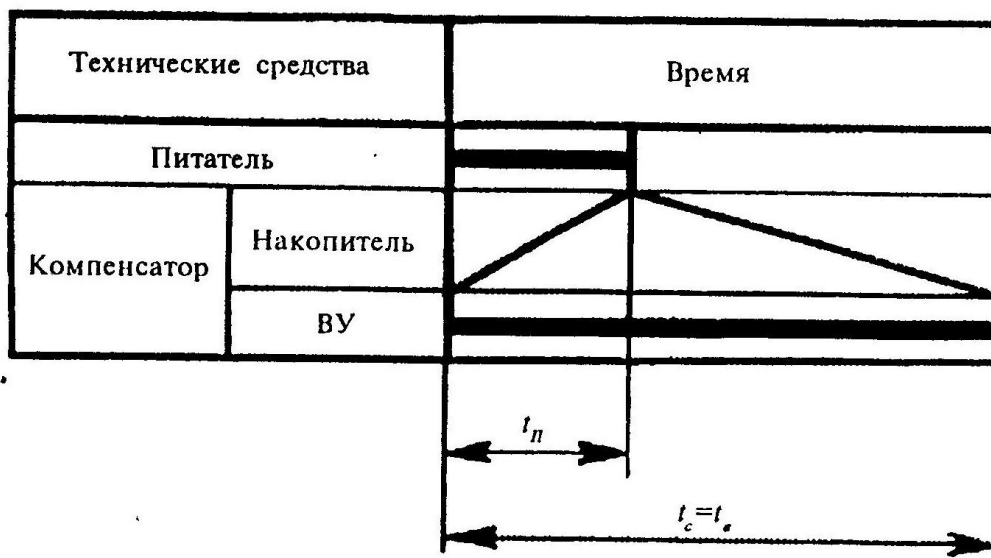


Рис. 3.7. График работы участка при  $Q_{\Pi} > Q_{\text{в}}$  и одновременном включении питателя и потребителя

**Р е ж и м 2. 1.** Задержка включения потребителя на время  $t_3$  приводит к тому, что весь произведенный в этот период питателем полуфабрикат должен быть заложен в компенсатор, т. е.  $M_{3\Pi} = Q_{\Pi} t_3$  (рис. 3.8).

После включения потребителя вследствие равной производительности питателя и ВУ ( $Q_{\Pi} = Q_{\text{в}}$ ) весь полуфабрикат должен будет перерабатываться без остатка и в компенсаторе будет сохраняться постоянный запас продукта  $M_K = M_{3\Pi}$ .

Учитывая, что количество полуфабриката, произведенного питателем и израсходованное потребителем за время цикла, равно, т. е.  $M_{\Pi\text{С}} = M_{\text{вС}}$ , получим

$$Q_{\Pi} t_{\Pi} = Q_{\text{в}} t_{\text{в}}.$$

Поскольку  $t_{\text{в}} = t_c - t_3$ , то и  $t_{\Pi} = t_c - t_3$ , следовательно, время работы питателя меньше времени синхронизации на величину  $t_3$ . За время  $t_3$  потребитель перерабатывает полуфабрикаты в количестве  $M_{3\text{в}} = Q_{\text{в}} t_3$ . Так как

$Q_{\Pi} = Q_{\text{в}}$ , то  $M_{3\text{в}} = M_{3\Pi}$ , т. е. к концу цикла компенсатор полностью опорожняется. Отсюда следует, что остановка питателя до окончания цикла необходима для расходования запаса  $M_3$  компенсатора.

Время совместной параллельной работы питателя и потребителя в течение цикла синхронизации

$$t_{cp} = t_c - 2 t_3 . \quad (3.4)$$

Работу участка иллюстрирует график, представленный на рис. 3.8.

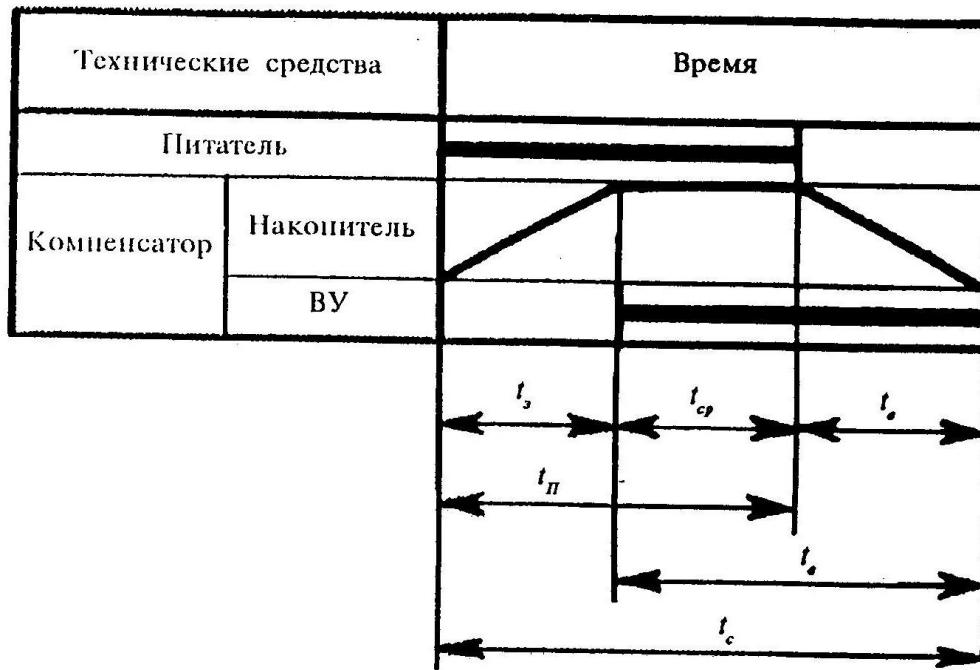


Рис. 3.8. График работы участка при  $Q_{\Pi} = Q_{\text{в}}$  и задержке включения потребителя на время  $t_{\text{в}}$

Равная производительность питателя и потребителя позволяет использовать их параллельно, без применения компенсатора. Задержка включения потребителя приводит к снижению коэффициента использования рабочего времени всего участка. Тогда из соотношения  $Q_{\text{ц}} t_{\text{с}} = Q_{\Pi} (t_3 + t_{cp})$  увидим, что производительность питателя и потребителя должна быть увеличена, т.е.

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{ц}} t_{\text{с}}}{t_3 + t_{cp}}$$

или с учетом (3.4)

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{ц}} t_{\text{с}}}{t_{\text{с}} + t_3} .$$

Р е ж и м 2. 2. Задержка включения потребителя при  $Q_{\text{в}} > Q_{\text{п}}$  позволяет обеспечить его рациональную загрузку согласно режиму 1.2. В этом случае можно согласовать длительность цикла синхронизации с продолжительностью задержки и производительностями питателя и потребителя (зависимость 3.1):

$$t_3 = \frac{(Q_{\text{в}} - Q_{\text{п}})t_c}{Q_{\text{в}}}.$$

Р е ж и м 2. 3. Соотношение производительности питателя и потребителя  $Q_{\text{п}} > Q_{\text{в}}$  приводит к тому, что время работы питателя оказывается всегда меньше времени работы потребителя (см. режим 1.3). Наличие периода задержки позволяет разделить такой режим на два подрежима, определяемых тем, какое количество материала вырабатывается питателем за время задержки.

Первый подрежим характеризуется соотношением

$$Q_{\text{п}}t_3 \geq Q_{\text{в}}t_{\text{в}},$$

т. е. количество материала, перерабатываемого потребителем за период синхронизации, не превышает количества полуфабрикатов, которое может быть произведено питателем за время задержки. Тогда, принимая, что  $Q_{\text{в}}t_{\text{в}} = Q_{\text{п}}t_{\text{п}}$ , получим с учетом (3.5), что  $t_{\text{п}} \leq t_3$ . Время работы питателя

$$t_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{в}}t_c}{Q_{\text{п}}}, \text{ а емкость компенсатора } M_{\text{к}} = Q_{\text{п}}t_{\text{п}}.$$

Работу участка для этого подрежима можно представить в двух видах (рис. 3.9 а и 3.9 б).

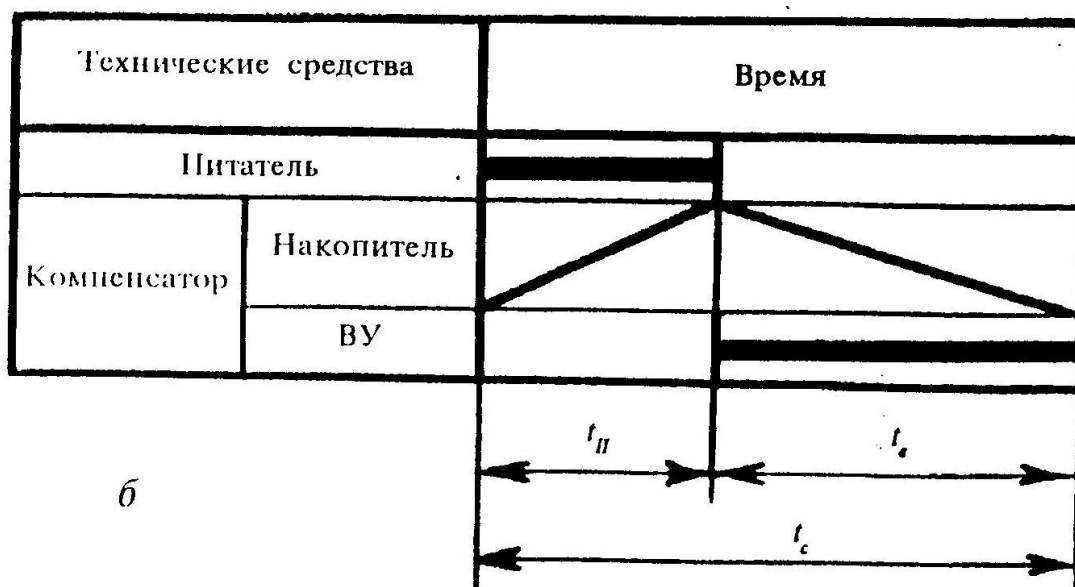
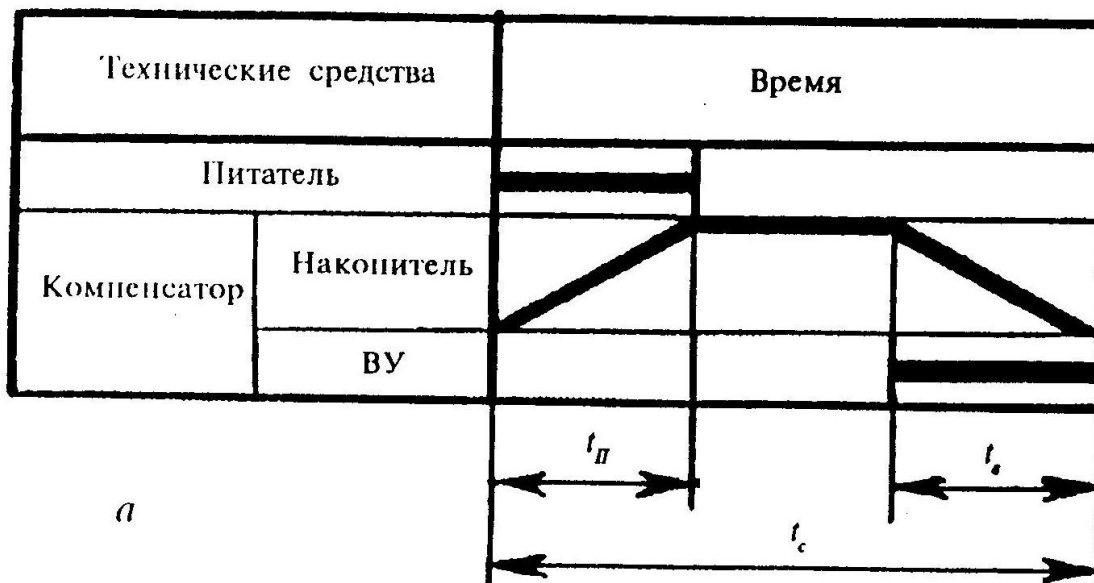


Рис. 3.9. Графики работы участка при  $Q_{\Pi} > Q_{\text{в}}$  и  $t_3 \geq t_{\Pi}$

Второй подрежим характеризуется соотношением

$$Q_{\Pi} t_3 < Q_{\text{в}} t_{\text{в}}.$$

В этом случае равенство  $Q_{\Pi} t_{\Pi} = Q_{\text{в}} t_{\text{в}}$  достигается при  $t_{\Pi} > t_3$ , т. е. питатель и потребитель должны некоторое время работать параллельно. Обозначим это время как  $t_{\text{ср}}$ .

В течение периода задержки в компенсатор поступит полуфабрикат в количестве

$$M_3 = Q_{\Pi} t_3.$$

За время  $t_{cp}$  в него дополнительно попадет

$$M_{cp} = (Q_{\Pi} - Q_{\text{в}}) t_{cp}.$$

Таким образом, общая емкость компенсатора составит

$$M_K = M_3 + M_{cp}$$

или

$$M_K = Q_{\Pi} t_3 + (Q_{\Pi} - Q_{\text{в}}) t_{cp}. \quad (3.6)$$

Графически работа участка представлена на рис. 3.10.



Рис. 3.10. Графики работы участка при  $Q_{\Pi} > Q_{\text{в}}$  и  $t_3 < t_{\Pi}$

Учитывая, что  $t_{\text{в}} = t_{\text{с}} - t_3$ , получим  $M_{\text{в}} = (t_{\text{с}} - t_3) Q_{\text{в}}$ , с другой стороны,  $M_{\text{в}} = Q_{\Pi} t_{\Pi}$ , тогда

$$t_{\Pi} = \frac{Q_{\text{в}} (t_{\text{с}} - t_3)}{Q_{\Pi}}. \quad (3.7)$$

Поскольку  $t_{cp} = t_{\Pi} - t_3$ , то с учетом (3.7) будем иметь

$$t_{cp} = \left[ \frac{Q_{\text{в}} (t_{\text{с}} - t_3)}{Q_{\Pi}} - t_3 \right],$$

что позволяет преобразовать зависимость (3.6) в расчетную формулу для нахождения емкости компенсатора:

$$M_{\kappa} = Q_{\Pi} t_3 + (Q_{\Pi} - Q_{\text{в}}) \left[ \frac{Q_{\text{в}} (t_c - t_3)}{Q_{\Pi}} - t_3 \right]. \quad (3.8)$$

### 3.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТОК УЧАСТКА С ОПЕРАЦИЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Операция периодической обработки осуществляется рабочим органом, имеющим накопитель емкостью  $M_{\text{б}}$ . В зависимости от структуры продукта в него помещается определенная порция или партия материала, которая затем обрабатывается в течение технологического времени  $t_T$ .

Элементарный участок технологической системы с операцией периодической обработки (УПО) включает установленный на входе питатель для подачи сырья, техническое средство (машину или аппарат) для периодической обработки (ТПО) и потребитель, позволяющий опорожнить накопитель ТПО и подготовить его к приему следующей порции (рис. 3.11).

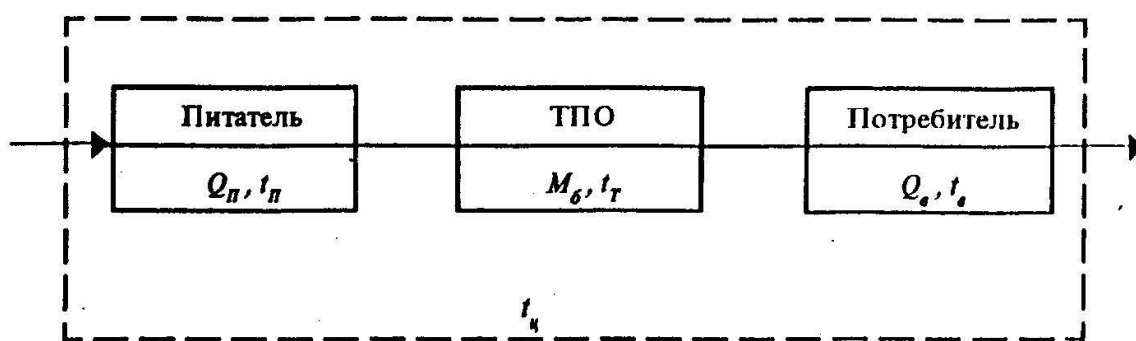


Рис. 3.1. Участок периодической обработки

Загрузка накопителя ТПО осуществляется питателем в течение времени

$$t_{\Pi} = \frac{M_{\text{б}}}{Q_{\Pi}} \quad (3.9.)$$

Чаще всего функцию опорожнения накопителя выполняет специальное выгрузное устройство (ВУ), которым оборудуется ТПО. Следовательно, выгрузное устройство можно рассматривать в качестве плавного потребителя УПО (рис 3.12).

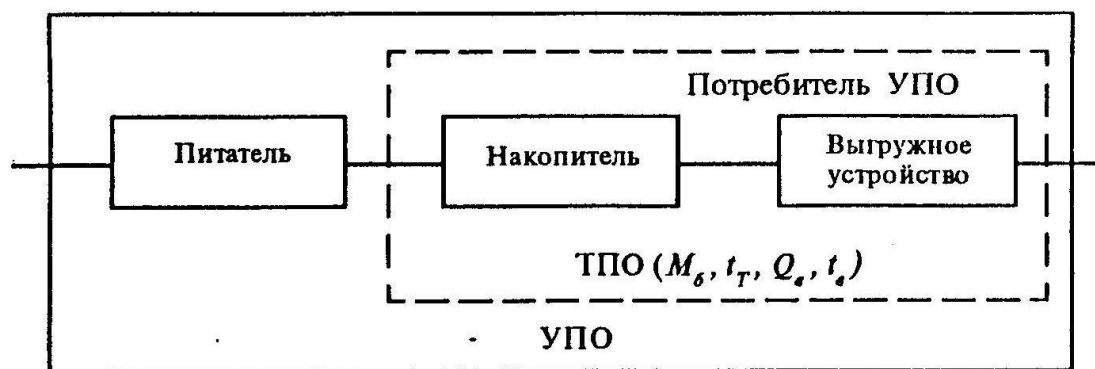


Рис. 3.12. Использование ВУ ТПО в качестве потребителя УПО.

Время выгрузки

$$t_{\delta} = \frac{M_{\delta}}{Q_{\delta}}. \quad (3.10)$$

Таким образом, видно, что накопитель рабочего органа периодической операции обеспечивает равномерную загрузку питателя в течение периода  $t_{II}$  и потребителя в течение периода  $t_{\delta}$ . Циклическое чередование различных периодов обработки приводит к соответствующим циклическим колебаниям периодов работы и простоя питателя и потребителя.

Питатель после работы в течение периода  $t_{II}$  простаивает в течение времени  $t_T$  и  $t_{\delta}$ . Потребитель работает только во время выгрузки в течение периода  $t_{\delta}$  и простаивает в течение времени  $t_{II}$  и  $t_T$ .

Работу участка иллюстрирует график, представленный на рис. 3.13.

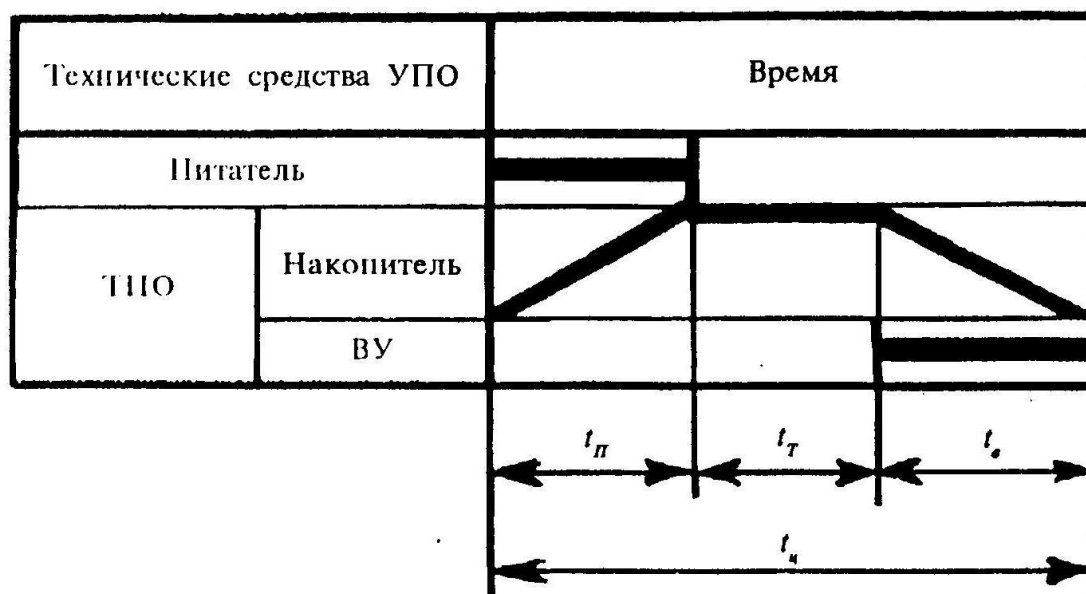


Рис. 3.13. График работы УПО в течение цикла  $t_{\delta}$

Выпуск продукции на участке за время цикла составляет

$$M_{\delta} = Q_{\delta} t_{\delta}, \quad (3.11)$$

где  $Q_{\delta}$  – производительность участка, выбранная из условия синхронизации технологического потока.

Учитывая 3.9, 3.10 и 3.11, можно связать технологические показатели операций загрузки и выгрузки ТПО с соответствующими периодами их выполнения:

$$Q_{\Pi} = \frac{Q_{\delta} t_{\delta}}{t_{\Pi}}; \quad Q_{\delta} = \frac{Q_{\delta} t_{\delta}}{t_{\delta}}$$

Поскольку  $t_{\Pi} < t_{\delta}$  и  $t_{\delta} < t_{\delta}$ , то, следовательно, производительности питателя и потребителя должны быть выше потребной производительности участка. На практике это означает, что проектная производительность технической системы может быть обеспечена только при использовании машин и аппаратов, имеющих заведомо большую техническую производительность. Причем она будет тем выше, чем меньше периоды  $t_{\Pi}$  и  $t_{\delta}$ , выделяемые для загрузки и разгрузки ТПО в течение технического цикла.

Соображения стабилизации технологического потока и рационализации применяемых технических средств указывают на необходимость сглаживания колебаний потока на границах “питатель – ТПО” и “ВУ ТПО – потребитель”. Наиболее рациональным решением является обеспечение условий, при которых режимы работы питателя и потребителя не связаны с периодами работы ТПО. В этом случае возникает реальная возможность снижения производительностей  $Q_{\Pi}$  и  $Q_{\delta}$  до значений, соответствующих заданной производительности участка.

#### **3.4. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТОКА УЧАСТКА С ОПЕРАЦИЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Равномерность технологического потока УПО достигается за счет создания организационных и технических предпосылок для непрерывной работы питателя и потребителя. По отношению к питателю это означает, что участок обеспечивается техническими средствами, принимающими полуфабрикат вне зависимости от режима периодической обработки. Непрерывная работа потребителя организуется за счет накопления и равномерного расходования



запаса готовой продукции, получаемой в результате периодической обработки. Следовательно, питатель и потребитель должны быть снабжены соответствующими компенсаторами.

Поскольку техническое средство периодической обработки представляет собой прежде всего накопитель, снабжаемый при необходимости выгрузным устройством, то такое средство может выполнять дополнительно функции компенсатора. Тогда для организации стабильного технологического потока УПО необходимо применить комплекс идентичных ТПО, компокуемых параллельно и работающих последовательно (рис. 3.14). Все ТПО образуют секцию периодической обработки (СПО) внутри ТПО.

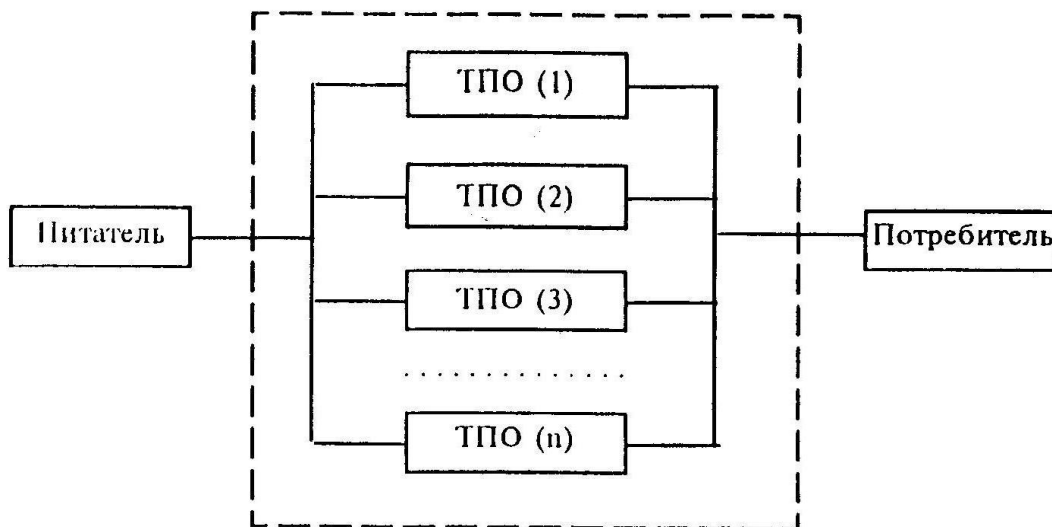


Рис. 3.14. Образование секции периодической обработки из  $n$  ТПО

В этом случае одна часть ТПО используется для загрузки полуфабриката из питателя, другая производит обработку, третья – разгружается, обеспечивая работу потребителя в заданном режиме. Следовательно, должно выполняться равенство  $Q_{\Pi} = Q_{\text{в}}$ . При правильной организации работы и достаточном количестве ТПО достигается выполнение условия

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{в}} = Q_{\text{с}}. \quad (3.12)$$

Применяя одинаковые ТПО с равными по емкости накопителями и схожими ВУ, получим

$$M_{\text{б}} = \frac{M_{\text{ц}}}{n}.$$

Тогда, учитывая (3.12), имеем

$$t_{\text{з}} = t_{\text{в}} = \frac{M_{\text{б}}}{Q_{\text{с}}}. \quad (3.13)$$

При последовательной загрузке и выгрузке всех ТПО должно выполняться условие

$$n t_3 = t_3 + t_T + t_{\theta}$$

или с учетом (3.13)

$$n t_3 = 2t_3 + t_T. \quad (3.14)$$

Откуда после преобразования (3.14), и используя (3.13) в виде  $t_3 = \frac{M_{\bar{o}}}{Q_c}$ , получаем

$$(n-2) \frac{M_{\bar{o}}}{Q_c} = t_T. \quad (3.15)$$

Поскольку  $t_T$  есть величина, обоснованная условиями ведения процесса, свойствами обрабатываемого материала и не подлежащая изменению в рамках применяемой технологии, то, используя (3.15), получаем

$$M_{\bar{o}} = \frac{Q_c t_T}{n-2}. \quad (3.16)$$

Отсюда следует, что непрерывное функционирование участка, включающего питатель, СПО и потребитель, возможно при  $n \geq 3$ . В общем виде работу участка иллюстрирует график (рис. 3.15).

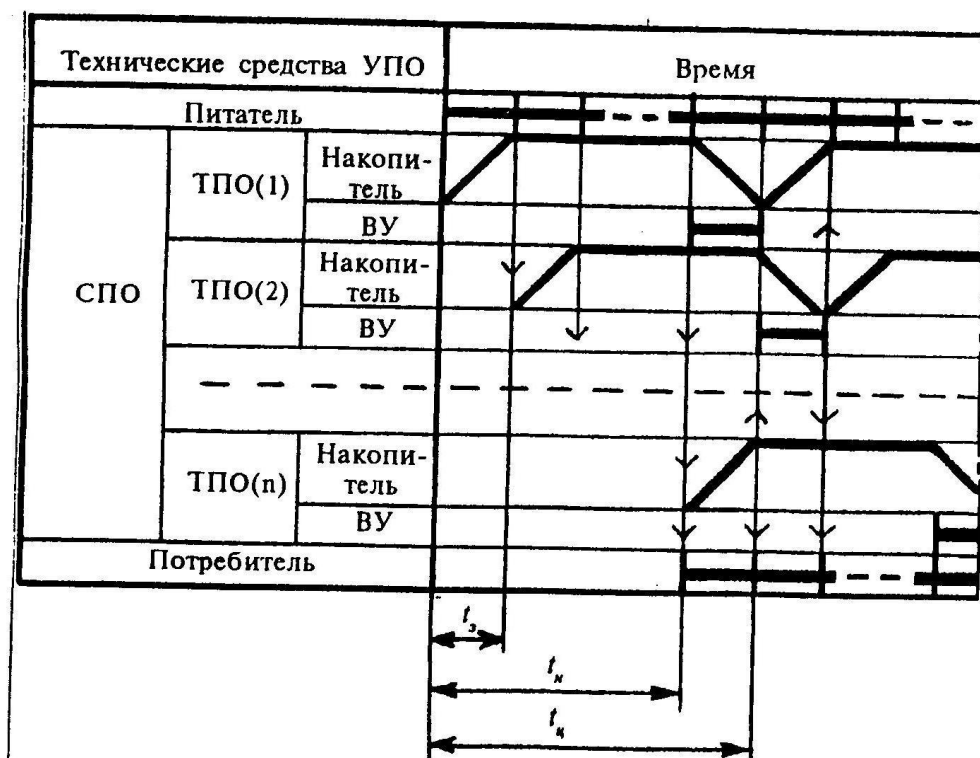


Рис. 3.15. График работы УПО при использовании  $n$  ТПО

Периодичность выпуска продукции ТПО приводит к тому, что на начальном этапе работы участка потребитель простаивает до тех пор, пока не будет обработана первая порция материала в ТПО (1). Работа технических средств, установленных непосредственно за СПО, начнется по истечении периода

$$t_H = t_3 + t_T$$

с момента загрузки ТПО (1) (см. рис. 3.15). Поскольку  $t_T$  есть величина постоянная, то сокращение времени  $t_H$  может быть достигнуто за счет уменьшения  $t_3$ . Согласно (3.13) и (3.14)

$$t_3 = \frac{t_T}{n-2}.$$

Следовательно, увеличение количества ТПО способствует сокращению потерь времени в начальный период работы УПО.

Другой путь организации стабильного технологического потока на участке периодической обработки заключается в применении специальных компенсаторов: начального (НК) и конечного (КК). Первый устанавливается между питателем и ТПО и служит для накопления подаваемого полуфабриката в те периоды, когда производятся периодическая обработка и опорожнение ТПО, а также для перегрузки образовавшегося запаса в свободный накопитель ТПО. Конечный компенсатор располагается между ТПО и потребителем и используется для равномерной загрузки последнего (рис. 3.16).

Рис. 3.16. УПО с начальным и конечным компенсаторами

Каждый компенсатор, помимо накопителя, имеет собственное выгрузное устройство (ВУ). При этом ВУ КК фактически является последним элементом УПО, формирующим поток расхода с заданной интенсивностью  $Q_p$ .

Колебания материального потока происходят только в пределах СПО, куда можно включить НК, ТПО и накопитель КК (рис. 3.17).



Рис. 3.17. СПО в пределах УПО при установке НК и КК:

ННК – накопитель НК,  
 ВУНК – выгрузное устройство НК,  
 НТПО – накопитель ТПО,  
 ВУТПО – выгрузное устройство ТПО,  
 НKK – накопитель КК,  
 ВУKK – выгрузное устройство КК,  
 $M_n$  – емкость ННК,  
 $Q_n$  – производительность ВУНК,  
 $M_\delta$  – емкость НKK,  
 $Q_k$  – производительность ВУKK.

Работу участка наглядно иллюстрирует график 3.18.

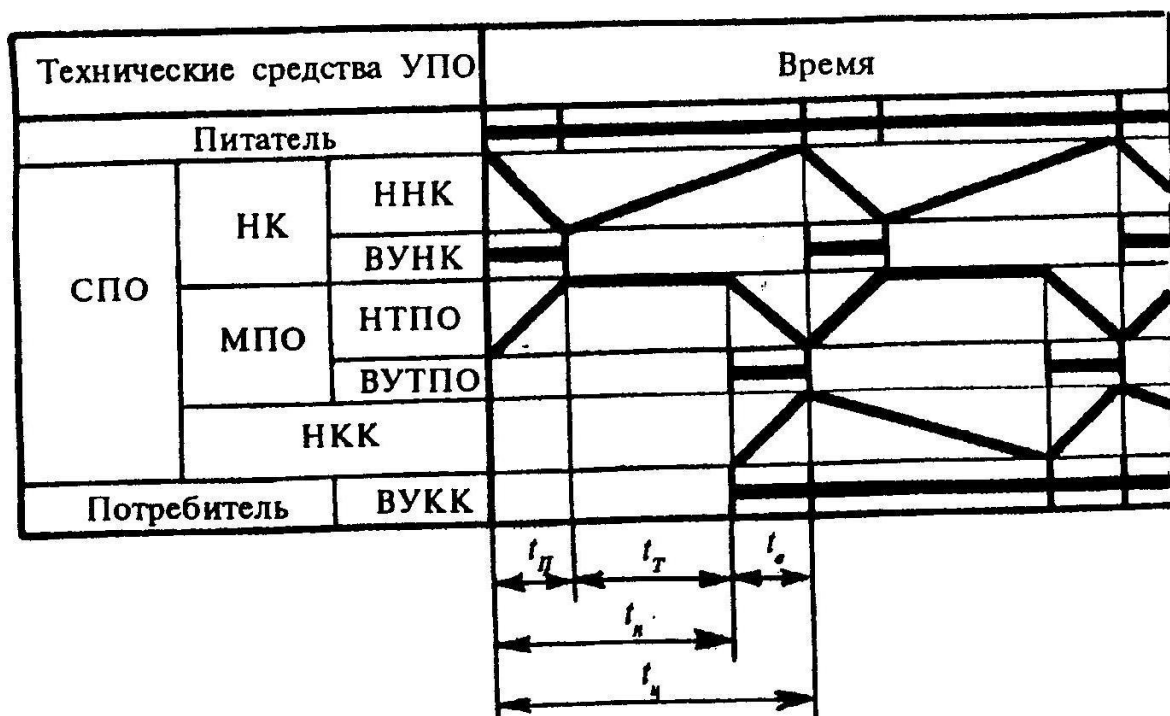


Рис. 3.18. Работа УПО при создании СПО с применением НК и КК

Питатель вместе с НК работает в режиме 1.2, ВУТПО вместе с КК – в режиме 1.3 (см. разд. 3.2). СПО выполняет функции технологического демпфера между питателем и потребителем, поэтому необходима реализация организационной ситуации, когда  $Q_{\Pi}=Q_{\kappa}=Q_C$ . Тогда с учетом 3.1 и 3.3, при заданных параметрах цикла можно согласовать емкости накопителей НК и КК с производительностями  $Q_C$ ,  $Q_{\Pi}$  и  $Q_{BY}$ :

$$M_H = \frac{Q_C (Q_{\Pi} - Q_C) t_C}{Q_H}; \quad M_K = \frac{Q_C (Q_B - Q_C) t_C}{Q_{BY}}.$$

Работу участка наглядно иллюстрирует график 3.18.

Работа блока “питатель – НК” в режиме 1.2 осуществляется в том случае, когда ТПО уже загружен и ведется обработка порции продукта. Однако при введении участка в рабочий режим (рис. 3.18) при подаче в ТПО первой порции полуфабриката нет необходимости использовать НК по прямому назначению – весь объем порции может быть сразу загружен в ТПО. НК работает как транспортер. Поскольку  $Q_H > Q_{\Pi}$ , то время за-грузки НТПО

$t'_{\Pi} = \frac{M_{\delta}}{Q_{\Pi}}$ . Таким образом, выпуск продукции на участке начнется спустя время  $t_H = t'_{\Pi} + t_T$  с момента начала работы СПО. Сокращение  $t_H$  может быть достигнуто за счет применения на участке двух, желательно идентичных, ТПО. (Применение трех и более ТПО рассматривалось выше). Тогда за счет уменьшения объема накопителя каждого ТПО при сохранении суммарной емкости  $M_{\delta}$  время заполнения

$$t''_{\Pi} = \frac{M_{\delta}}{Q_{\Pi}}.$$

### Вопросы для самоконтроля

1. Чем вызывается снижение производительности участка?
2. Как рассчитать выпуск продукции на участке за цикл синхронизации?
3. Какими организационными средствами достигается повышение производительности участка?
4. Как используется компенсирующая операция?
5. Как работает компенсатор?
6. Каковы типичные периоды работы компенсатора?
7. Каков наиболее рациональный режим работы участка с операциями непрерывной обработки при использовании компенсатора?
8. Что технически представляет собой компенсатор?

9. Чем формируется поток расхода компенсатора?
10. Какими техническими параметрами характеризуется участок с операциями непрерывной обработки и компенсатором?
11. Каковы организационные параметры такого участка?
12. Какое условие кладется в основу организации технологического потока участка?
13. Какие режимы рассматриваются при организации технологического потока участка с операциями непрерывной обработки?
14. Какой накопитель необходим при работе участка в режиме 1.1?
15. Как рассчитать емкость компенсатора для режима 1.2?
16. Как рассчитать емкость компенсатора для режима 1.3?
17. Как рассчитать емкость компенсатора, производительность питателя и потребителя для режима 2.1?
18. Какие подрежимы можно выделить в режиме 2.3?
19. Как рассчитать емкость компенсатора для каждого из трех подрежимов режима 2.3?
20. Какие технические средства включает участок с операцией периодической обработки?
21. Как определить время загрузки и выгрузки накопителя технического средства периодической обработки?
22. Как рассчитать потребную емкость накопителя ТПО?
23. Какими средствами достигается сглаживание неравномерностей потока УПО?
24. Как формируется СПО при использовании нескольких ТПО, устанавливаемых параллельно?
25. Как работает СПО в этом случае?
26. Какие соотношения определяют количество идентичных ТПО и емкость их бункеров?
27. Как рассчитывается время начала выпуска продукции при установке нескольких ТПО?
28. Как формируется СПО при использовании специальных НК и КК на УПО?
29. Какими параметрами характеризуются технические средства такой СПО?
30. Как определяется емкость НК и КК?
31. Как рассчитывается время начала выпуска продукции  $t_H$  на УПО при использовании НК и КК?
32. Какими средствами достигается снижение  $t_H$ ?

## 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

### 4.1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС

Предприятия по хранению и переработке зерна являются узкоспециализированными, поскольку они уже в процессе проектирования ориентируются на переработку и выпуск ограниченного ассортимента продукции. На них устанавливается специальное оборудование, которое в совокупности с производственными зданиями, сооружениями и транспортными машинами объединяется в довольно жесткие системы. Функциональные возможности таких систем закладываются на стадии проектирования и при нормальной организации производственного процесса могут стабильно работать в течение длительного времени.

Как любая производственная система, продовольственное предприятие осуществляет преобразование материальных и энергетических ресурсов в готовые продукты под влиянием управляющих и возмущающих воздействий (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Структурно-технологическая схема производственного процесса предприятия

Основой для работы предприятий является сырье, которое может быть в рассыпном или жидком виде. Рассыпное сырье – это прежде всего зерно, поступающее на хлебоприемные, мукомольно-крупяные и комбикормовые предприятия. Кроме того, это могут быть необмолоченные початки кукурузы, предназначенные для хранения или переработки на элеваторах, а также различные виды сырья комбикормового производства: гранулы травяной муки, отруби, мучки, отходы пищевой промышленности и пр. Жидкое сырье поступает на комбикормовые заводы. Это, например, меласса или различные животные и растительные жиры. Для производства продукции на предприятиях используются такие материалы, как вода, газ или упаковка, а также различные виды энергии: тепловая, электрическая, механическая.

Сырье, материалы и энергия поступают в технологические системы, где осуществляется целенаправленное изменение свойств сырья в соответствии с принятой технологией под воздействием деятельности человека и влиянием окружающей среды.

Деятельность человека выражается в управлении производственным процессом в целом, непосредственном участии и контроле за работой оборудования, а также в обеспечении технического обслуживания и ремонта.

Влияние окружающей среды в большинстве случаев оказывает отрицательное воздействие на производственный процесс. Осадки и повышенная влажность приводят к негативному изменению физико-механических свойств сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов; свет и изменяющаяся температура могут привести к снижению их питательных или кормовых свойств, а неудовлетворительный газопылевой состав атмосферы негативно влияет на людей, что в конечном итоге приводит к снижению качества готовой продукции. Иногда, однако, понижение температуры окружающего воздуха является положительным фактором, например при проведении активного вентилирования зерна в складах.

Основу производственного потенциала предприятия составляют технологии, которые через технологические процессы определяют схемы переработки, структуру технологических и технических систем, зданий и сооружений. В некоторых случаях технологии диктуют компоновку оборудования внутри зданий и саму их конструкцию, необходимость применения систем канализации, автоматики, связи.

Конечный результат работы предприятия — продукция и отходы. Ассортимент продукции зависит от профиля предприятия: продукцией может быть кондиционное семенное, фуражное или продовольственное зерно, помольные партии, мука, комбикорм или крупа. Отходы предприятий хлебоперерабатывающей промышленности состояют из двух основных групп. К первой относятся полезные отходы, являющиеся сырьем для комбикормовой промышленности. Это стержни кукурузы, шелуха пленчатых культур, мучки, отруби, дробленка. Ко второй — отходы бесполезные, вредные: различные металлические и минеральные примеси, которые попадают в сырье и



полуфабрикаты в процессе их производства и выявляются на различных стадиях обработки.

Технологические и технические системы, здания и сооружения — материальная база производственного потенциала предприятия (рис. 4.2). Они взаимосвязаны и взаимозависимы. Степень взаимозависимости определяется на стадии проектирования предприятия, когда выполняется компоновка.

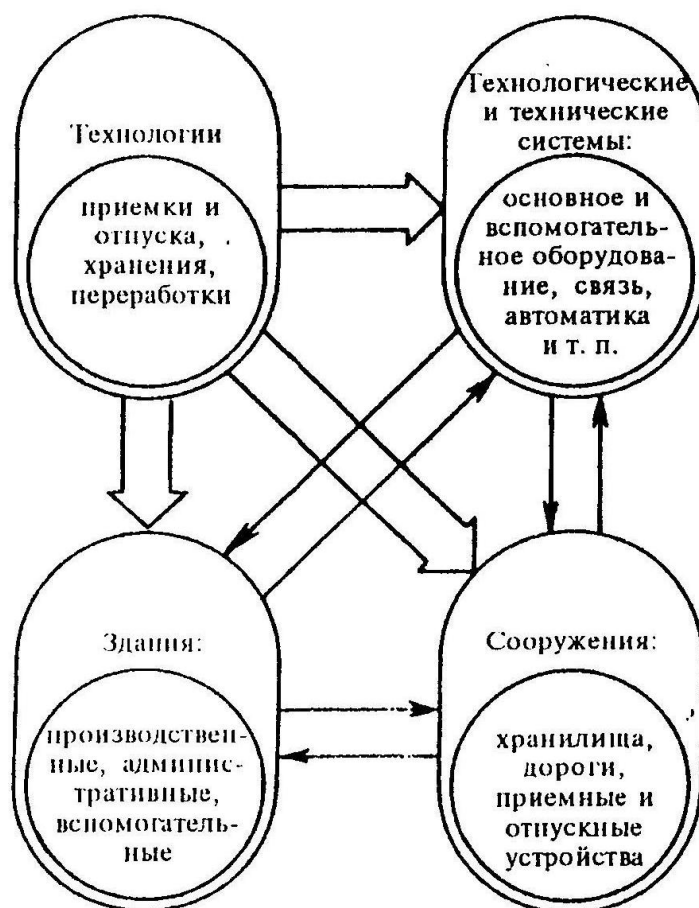


Рис. 4.2. Производственный потенциал предприятия

В этот период производится расстановка основного, вспомогательного и транспортного оборудования на этажах внутри здания и прокладываются транспортные и силовые коммуникации, выбираются варианты размещения складов, промежуточных хранилищ и оперативных бункеров. На этом этапе есть возможность привязать конструкцию сооружения к предпочтительной конструкции здания или, наоборот, рассчитать высоту этажей и предусмотреть все необходимые для установки машин элементы в зданиях и сооружениях (отверстия в перекрытиях, анкеры, фундаменты и пр.), а в особых случаях, например при реконструкции предприятия, выбрать оборудование, которое может быть размещено в имеющемся помещении. Установленная при строительстве предприятия и монтаже оборудования взаимосвязь материальных элементов сохраняется неизменной в течение всего срока эксплуатации.

## 4.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПОТОЧНОГО ТИПА

Технический потенциал технологических систем реализуется в максимальной степени при организации полноценного технологического потока. В условиях реального производства это требует учета структурных особенностей выполнения технологического процесса, таких как функциональное объединение технологических систем, зданий и сооружений, расположение элементов в соответствии с преемственностью операций, наличие достаточного количества транспортных коммуникаций и компенсаторов, установление четких связей на период действия технологии. Только при решении всех этих вопросов можно говорить о создании поточной технологической системы (ПТС) производства как комплекса взаимосвязанных технических средств, зданий и сооружений, которые обладают функциональными, техническими и структурными возможностями для формирования технологического потока.

Поточные технологические системы различаются по внешним и внутренним признакам (табл. 4.1). Внешние признаки – это степень механизации и функциональность. К внутренним признакам относятся вид и структура потока, а также компоновка элементов и вид связи между ними.

Степень механизации отражает уровень участия человека в технологическом процессе. Несложные технологические процессы при небольшой интенсивности производства могут быть механизированными. Однако повышение интенсивности производства приводит к необходимости перехода автоматизации.

Функциональность ПТС проявляется в способности обрабатывать различные виды сырья и выпускать различные виды продукции (см. разд. 1.4). Так, например, стандартный набор оборудования комбикормового предприятия позволяет перестраивать его на обработку разнородного сырья и выпуск продукции по различным рецептам.

При анализе внутренних признаков ПТС учитывается в первую очередь стабильность движения потока – его вид. Существующее в настоящее время оборудование чаще всего позволяет производить непрерывную обработку. ПТС с такими машинами можно характеризовать как непрерывно-поточную. Однако специфика некоторых операций или организация формы построения технологического потока (смешивание в машинах периодической обработки, гидротермическая обработка, выпечка, центрифугирование в машинах с периодической выгрузкой осадка, варка, приготовление растворов) делают процесс неравномерным, что позволяет характеризовать его как прерывно-поточный.

Учитывая, что выпуск продукта, состоящего из нескольких компонентов, или нескольких продуктов из одного, по сути своей является результатом объединения нескольких потоков в один или распадом одного потока на несколько, по признаку “структура потока” можно выделить ПТС с линейными, сходящимися и расходящимися потоками. Примером сходящегося

потока может служить объединение компонентов комбикорма, примером расходящегося – многосортный помол зерна на мельнице. Также следует отметить параллельно-линейные, многопоточные ПТС, которые позволяют кратно изменять выпуск продукции по единой технологии. Часто структура потока бывает комбинированной, например сходяще-расходящейся.

Внутри ПТС может существовать последовательная (друг за другом) и параллельная компоновка элементов. Последняя применяется для согласования такта операции с общим тактом потока, когда пропускная способность одной машины недостаточна для обеспечения заданной производительности системы. Любое объединение компоновок элементов позволяет классифицировать такую ПТС как систему с комбинированной компоновкой.

Применение в ПТС технологических машин непрерывной обработки, обеспечивающих заданный темп потока, позволяет сократить количество промежуточного оборудования за счет последовательной компоновки и жесткой привязки друг к другу. Однако в тех случаях, когда применяются машины, не согласованные по производительности, или технические средства периодической обработки и нарушается непрерывный ход технологического потока, возникает необходимость установки специальных накопительных сооружений или устройств, демпфирующих неравномерность потока. При использовании таких элементов между всеми технологическими средствами достигается полная компенсированность связей. Если же демпферные элементы устанавливаются не везде, а, например, только между машинами и аппаратами, ограничивающими технологически законченные этапы производства, то такая система характеризуется как ПТС с частично компенсированными связями.