

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕНЕДЖМЕНТ

Учебное пособие к практическим занятиям  
для студентов специальности

23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»,  
специализация «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и  
оборудование»

Санкт-Петербург  
2024

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Разработка сетевых графиков .....                                                                                                             | 4  |
| 1.1. История сетевого моделирования .....                                                                                                        | 4  |
| 1.2. Классические сетевые графики.....                                                                                                           | 5  |
| 1.2.1. Правила построения классических сетевых графиков.....                                                                                     | 7  |
| 1.2.2. Пример построения классического сетевого графика.....                                                                                     | 13 |
| 1.2.3. Параметры классического сетевого графика .....                                                                                            | 15 |
| 1.2.4. Анализ вероятности завершения проекта в срок .....                                                                                        | 21 |
| 1.3. Современные сетевые графики.....                                                                                                            | 23 |
| 1.4. Методы решения сетевых графиков.....                                                                                                        | 23 |
| 1.4.1. Расчёт критического пути .....                                                                                                            | 23 |
| 1.4.1.1. Расчет критического пути на классической сетевой модели .....                                                                           | 23 |
| 1.4.1.2. Расчет критического пути на современной сетевой модели .....                                                                            | 24 |
| 1.4.2. Расчёт классической сетевой модели методом Форда .....                                                                                    | 25 |
| 1.4.3. Матричный метод расчёта классической сетевой модели.....                                                                                  | 27 |
| 1.4.4. Табличный метод расчёта классической сетевой модели.....                                                                                  | 28 |
| 1.4.5. Расчёт вероятности завершения проекта в срок .....                                                                                        | 29 |
| 1.5. Оптимизация сетевых графиков .....                                                                                                          | 31 |
| 1.5.1. Оптимизация времени выполнения проекта с ограниченным ресурсом<br>исполнителей и расстановкой их на критическом пути.....                 | 31 |
| 1.5.2. Оптимизация времени выполнения проекта с ограниченным ресурсом<br>исполнителей и перераспределением работ с имеющимся резервом времени .. | 33 |
| 2. Организация производственного процесса во времени .....                                                                                       | 36 |
| 3. Организация производственного процесса в пространстве.....                                                                                    | 47 |
| 4. Выбор и обоснование типа производства.....                                                                                                    | 51 |
| 5. Производственное планирование численности работников.....                                                                                     | 58 |

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6. Разработка фотографии рабочего дня и баланса рабочего времени.....                   | 64  |
| 7. Размещение предприятий .....                                                         | 71  |
| 8. Организация производства непоточными методами.....                                   | 94  |
| 9. Организация производства поточными методами.....                                     | 110 |
| 10. Управление запасами на предприятиях .....                                           | 147 |
| 10.1. ABC-анализ .....                                                                  | 147 |
| 10.2. Учет.....                                                                         | 148 |
| 10.3. Модель с дисконтированием по размеру партии поставки .....                        | 150 |
| 10.4. Модель управления запасами с фиксированной партией поставки .....                 | 152 |
| 10.5. Модель управления запасами с фиксированным ритмом поставки .....                  | 154 |
| 10.6. Комбинированный способ управления запасами .....                                  | 159 |
| 10.7. Управление запасами с фиксированной партией поставки (стохастический подход)..... | 161 |
| 10.8. Управление запасами с фиксированным ритмом поставки (стохастический подход).....  | 165 |
| 10.9. Комбинированный способ управления запасами (стохастический подход).....           | 169 |

# 1. РАЗРАБОТКА СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ

## 1.1. История сетевого моделирования

Одним из известных методов, позволяющих достаточно эффективно управлять проектами, является временной «график Ганнта» – для несложных проектов.

Генри Лоуренс Ганнт (1861 – 1919) был одним из известных учеников Фредерика Уинслоу Тейлора (1856 – 1915). Американский инженер Ганнт интересовался уже не отдельными операциями и движениями, как его учитель, а производственными процессами в целом. Согласно Ганнту «основные различия между наилучшей сегодняшней и прежними системами состоят в способах планирования и распределения задач, а также способах распределения поощрений за их выполнение». Следуя этому принципу, Ганнт поставил цель усовершенствовать механизмы функционирования предприятий путем обновления систем формирования задач и распределения поощрений и премий.

Ганнт является первооткрывателем в области оперативного управления и календарного планирования деятельности предприятий; он разработал целую систему плановых графиков («графики Ганнта»), позволивших благодаря их высокой информативности осуществлять контроль за запланированными и составлять календарные планы на будущее.

В числе первых методов управления проектами в конце 50-х годов были разработаны методы сетевого планирования и управления: метод *CPM* (*Critical Path Method*, 1957 г.), который применили при строительстве и ремонте химических заводов Дю Пона. Это метод критического пути при фиксированном числе работ для составления расписания.

Почти в это же время, в 1958 г. появился метод *PERT* (*Program Evaluation and Review Technique*) – метод оценки и пересмотра программ. Он возник при решении задачи перевооружения военно-морского флота Америки.

*CPM* использует предположение: «времена всех работ имеют определенные величины».

*PERT* использует три временных оценки для каждой работы, в результате чего каждая работа оценивается математическим ожиданием времени ее выполнения и дисперсией. Разновидностью данного метода стал метод *PERT – Cost*, который использует в параметрах сети стоимостные оценки работ.

В отличие от графиков Ганнта, методы *PERT* и *CPM* применялись для сложных проектов из 1000 работ.

С начала 70-х годов XX века сетевые модели начали широко внедряться для управления и планирования процессами создания и освоения новых изделий на машиностроительных предприятиях СССР. Два этих метода (*PERT + CPM*) стали известны как методы сетевого планирования.

Основным плановым документом в системе сетевого планирования и управления (СПУ) является сетевой график (сетевая модель, или просто сеть), представляющий собой информационно-динамическую модель, в которой

изображаются взаимосвязи и результаты всех работ, необходимых для достижения конечной цели разработки.

В сетевом графике детально или укрупнено показывается, что, в какой последовательности, когда (за какое время), для чего необходимо выполнить, чтобы обеспечить окончание всех работ не позже заданного (директивного) срока.

Сетевая модель отражает логическую последовательность и взаимосвязи работ, которые должны быть выполнены для того, чтобы достигнуть определенную цель.

Сетевая модель (график) (СМ) – конечный ориентированный граф, в котором одна вершина не имеет входных дуг (начальных вершин) и одна вершина не имеет исходных дуг (конечных вершин).

Граф – это схема, состоящая из заданных точек (вершин), соединенных определенной системой линий. Отрезки, соединяющие вершины, называются ребрами (дугами) графа. Ориентированным называется такой граф, на котором стрелкой указаны направления всех его ребер (дуг). Графы носят название карт, лабиринтов, сетей, диаграмм. Исследование этих схем проводится методами теории, получившей название «теория графов». Теория графов оперирует понятием пути, под которым понимается такая последовательность ребер, когда конец каждого предыдущего ребра совпадает с началом последующего. Понятие контура означает конечный путь, у которого начальная вершина совпадает с конечной вершиной.

Другими словами, сетевой график – это ориентированный граф без контуров, ребра которого имеют одну или несколько числовых характеристик. Ребрами изображаются на графе работы, а вершинами графа – события.

Исторически сложившееся представление графа состоит из двух основных элементов: работа и событие.

Современное представление графа отличается от ранее разработанного. В конце XX века элементная база графа сужается до одного понятия: процесс, который имеет начало, завершение и длительность.

## **1.2. Классические сетевые графики**

Элементами сетевых графиков, разработанных в середине 50-х годов, принято считать работу и событие.

Действительными работами называются любые процессы, действия, требующие затрат времени и ресурсов и приводящие к достижению определенных результатов (событий). Например, действия: «разработка маршрутной технологии», «изготовление штампов», «разработка чертежей» и т.д. Процессы: «механическая обработка деталей», «старение отливок» и т.д. Работой следует считать и возможное ожидание (пролеживание) деталей перед началом обработки, пролеживание изготовленных некомплектных элементов конструкции при сборке, ожидание поставок по кооперации и т.д. Здесь требуются только затраты времени.

Кроме работ действительных, т.е. требующих затрат времени и ресурсов, существуют так называемые фиктивные работы (зависимости). Фиктивной работой (зависимостью) называется связь между какими-то результатами работ (событиями), не требующими затрат времени и ресурсов. Допустим, сведения о внесенных в чертежи изменениях конструкторы должны сообщить технологам, разрабатывающим маршрутную технологию изготовления автомобиля. К разработке детальных технологических процессов можно приступить только тогда, когда в маршрутной технологии отражены изменения, сделанные конструкторами. Сама передача сведений технологам не займет внутри одной организации практически никакого времени, и ее можно считать фиктивной работой.

Событиями называются результаты произведенных работ. Событие конкретизирует процесс планирования, исключает возможность различного толкования итогов выполненных работ. Результаты перечисленных выше работ, т.е. события можно записать следующим образом: «маршрутная технология разработана», «штампы изготовлены», «чертежи разработаны», «механическая обработка деталей закончена», «старение отливок завершено» и т.д. Как мы видим, формулировка события всегда записывается в совершенной форме, не допускающей различного толкования (т.е. что-то сделано, выполнено, закончено). Каждое событие может быть отправным моментом для начала последующих работ. В отличие от работы, имеющей, как правило, «протяженность» во времени, событие представляет собой только момент свершения работы (или работ).

Событие, за которым непосредственно начинается данная работа (работы), называется начальным для данной работы; оно обозначается буквой *i*. Например, для работы «разработка маршрутной технологии» при подготовке производства нового кузова легкового автомобиля начальным может быть событие «разработка конструкции нового кузова закончена».

Событие, которому непосредственно предшествует данная работа (работы), называется конечным для данной работы; оно обозначается буквой *j*. Например, для той же работы конечным может быть событие «разработка маршрутной технологии изготовления кузова закончена».

Событие, располагающееся в сети непосредственно перед данным событием, так, что между ними нет никаких промежуточных событий, называется предшествующим. Например, для события «разработка маршрутной технологии закончена» предшествующим может быть событие «разработка конструкции нового кузова закончена».

Событие, располагающееся в сети непосредственно после данного события так, что между ними нет никаких промежуточных событий, называется последующим. Для события «разработка маршрутной технологии закончена» последующим может быть событие «разработка технологических процессов закончена».

Первоначальное событие в сети, не имеющее предшествующих ему событий и отражающее начало выполнения всего комплекса работ, включенных в данную сеть, называется исходным; оно обозначается буквой *I*. Для того же комплекса работ «подготовка производства нового кузова легкового автомоби-

ля» исходным событием может явиться подписание приказа о создании отдела главного конструктора и других отделов (на вновь создаваемом заводе) или о назначении, руководителя, которому поручается комплекс работ по подготовке производства кузова (на действующем заводе).

Событие, которое не имеет последующих событий и отражает конечную цель комплекса работ, включенных в данную сеть, называется завершающим. Оно обозначается буквой С. Завершающее событие, которое будет характеризовать окончание подготовки производства кузова автомобиля, может быть сформулировано так «инструментальная оснастка, штампы, нестандартное оборудование для изготовления кузова смонтированы и отлажены».

Любая последовательность работ в сетевом графике, которой конечное событие одной работы совпадает с начальным событием следующей за ней работы, называется путем.

Всякая работа сетевого графика кодируется номерами ее начального ( $i$ ) и конечного ( $j$ ) событий. Например, работа А (рис. 1.1) имеет код (1-2), а работа Д – код (4-7).

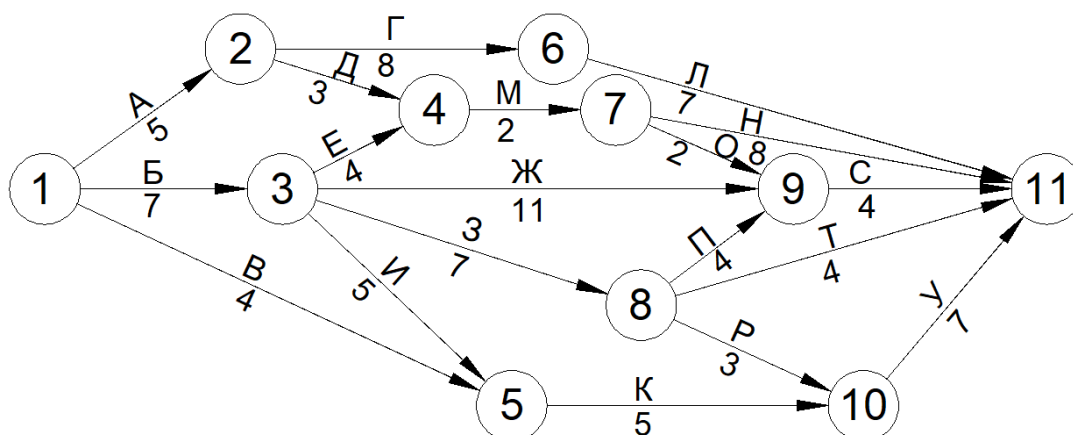


Рисунок 1.1 – Пример построения сетевого графика

Работы, входящие в событие, называются предшествующими по отношению к этому событию. Работы, выходящие из события, называются последующими по отношению к этому событию.

Событие, не имеющее предшествующих работ, называется исходным. Событие, не имеющее последующих работ, называется завершающим.

Сетевой график с одним завершающим событием называется одноцелевым, а с несколькими такими событиями – многоцелевым.

В дальнейшем рассматриваются только одноцелевые сетевые графики.

### 1.2.1. Правила построения классических сетевых графиков

При построении сетевого графика рекомендуется направлять стрелки слева направо и изображать их по возможности горизонтальными линиями без лишних пересечений.

Для правильного отражения взаимосвязи между работами сетевого графика при его построении необходимо соблюдать ряд правил.

1) Если работы А, Б и В выполняются последовательно, то на сетевом графике они изображаются по горизонтали одна за другой (рис. 1.2).

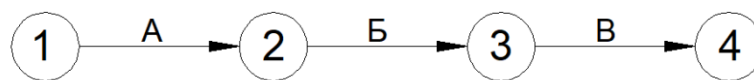


Рисунок 1.2 – Иллюстрация первого правила

2) Если результат работы А необходим для выполнения работ Б и В, то на сетевом графике это изображается следующим образом (рис. 1.3).

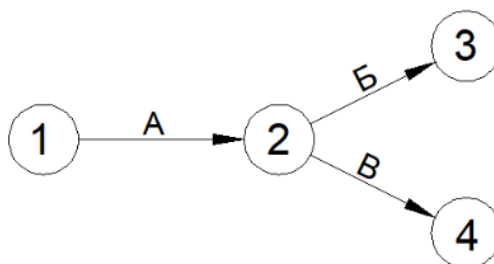


Рисунок 1.3 – Иллюстрация второго правила

3) Если результат работ Г и Д необходим для выполнения работы Е, то на сетевом графике это изображается так, как показано на рис. 1.4.

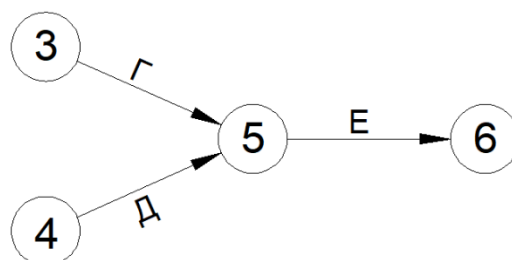
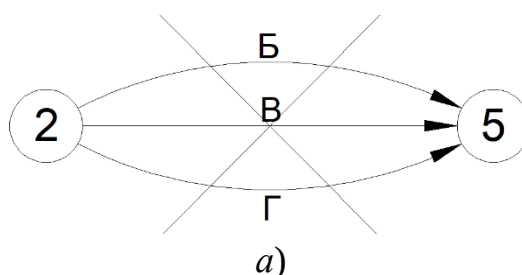
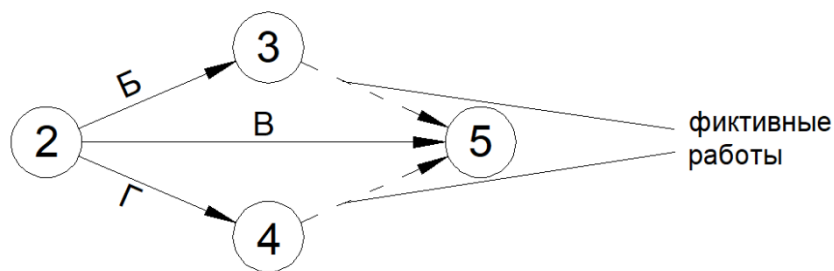


Рисунок 1.4 – Иллюстрация третьего правила

4) Работы сетевого графика не должны иметь одинакового кода. Если работы Б, В, Г выходят из одного события и их выполнение необходимо для свершения одного и того же события, то вводятся дополнительные фиктивные работы (рис. 1.5).





б)

Рисунок 1.5 – Иллюстрация четвертого правила:

а – не правильно; б – правильно

5) Если работы Б, В и Г начинаются после частичного выполнения работы А, то работа А разбивается на части А1, А2, Аi и т.д., при этом каждая часть работы А в сетевом графике считается самостоятельной работой (рис. 1.6).

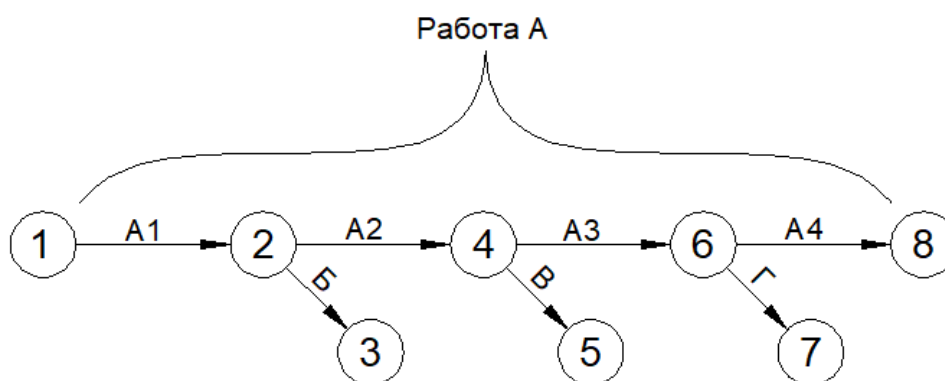


Рисунок 1.6 – Иллюстрация пятого правила

6) Если для начала работы Ж необходимо выполнение работ Г и В, а для начала работы Д выполнение работы Г, то в сетевой график вводится дополнительная фиктивная работа (рис. 1.7).

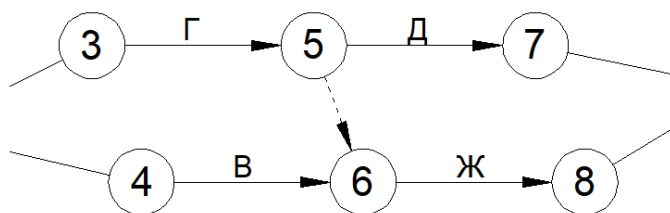


Рисунок 1.7 – Иллюстрация шестого правила

7) Если после окончания работы А можно начать работу Б, а после окончания работы В работу Г, и работа Д может быть начата только после окончания работ А и В, то на сетевом графике это изображается при помощи двух дополнительных фиктивных работ (рис. 1.8).

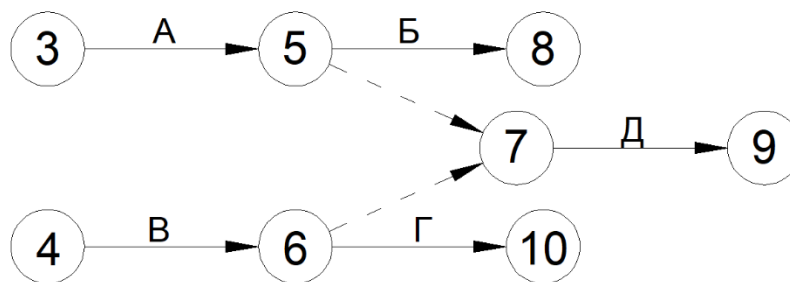


Рисунок 1.8 – Иллюстрация седьмого правила

8) В сетевом графике не должно быть замкнутых контуров (циклов), т.е. цепочек работ, возвращающихся к тому событию, из которого они вышли. На рис. 1.9 замкнутый контур (цикл) образовался из событий 3, 5, 4, 3. Наличие цикла в сети свидетельствует об ошибке в исходных данных или о неправильном изображении взаимосвязи работ.

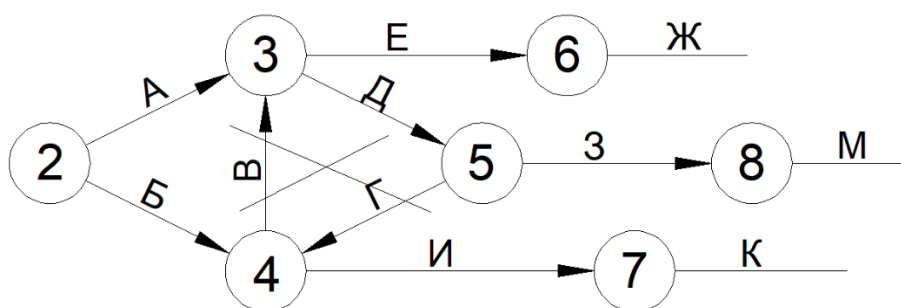
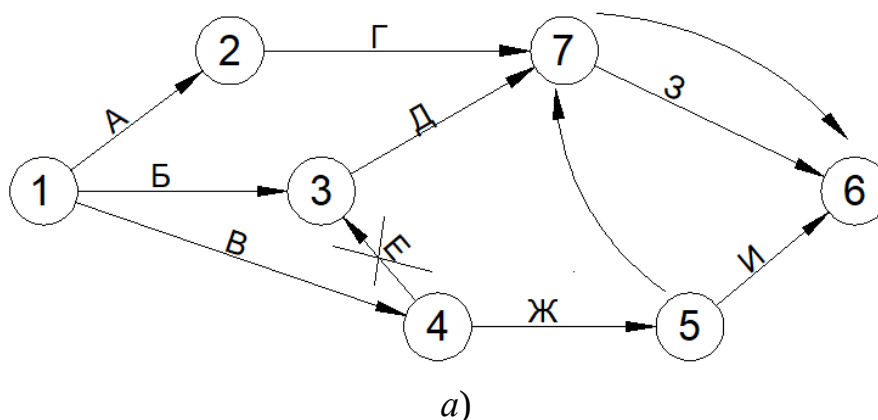
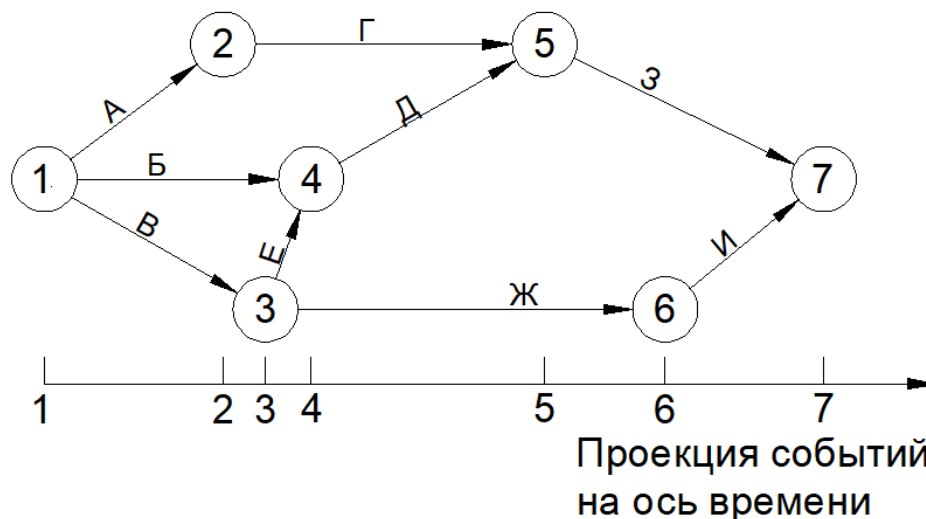


Рисунок 1.9 – Иллюстрация восьмого правила: замкнутый контур (цикл) 3-5-4-3 не допускается

Такая ситуация чаще возникает в больших и сложных сетях, которые разрабатываются несколькими исполнителями. При обнаружении подобной ошибки необходимо выяснить ее причину и исправить сетевой график.

9) События следует кодировать так, чтобы номер начального события данной работы был меньше номера конечного события этой работы (рис. 1.10).





б)

Рисунок 1.10 – Иллюстрация девятого правила

10) В одноцелевом сетевом графике не должно быть «тупиков», т.е. таких событий, из которых не выходит ни одной работы (событие 4 на рис. 1.11). Если в сети, кроме завершающего, появилось еще одно событие, из которого не выходит ни одной работы – это означает либо ошибку при построении сетевого графика, либо планирование ненужной работы (Б), результат которой никого не интересует (рис. 1.11).

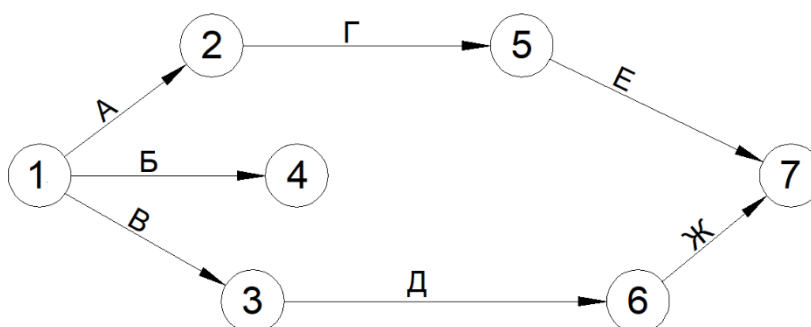


Рисунок 1.11 – Недопустимый для сетевого графика «тупик». Правило №10

11) В сетевом графике не должно быть «хвостов» т.е. событий в которые не входит ни одной работы, если эти события не являются исходными для данного сетевого графика (событие 4 на рисунке 1.12). Если это правило нарушено и в сети, кроме исходного, появилось еще одно событие, в которое не входит ни одной работы – это означает либо ошибку при составлении сетевого графика, либо отсутствие работы, результат которой необходим для начала работы (Е).

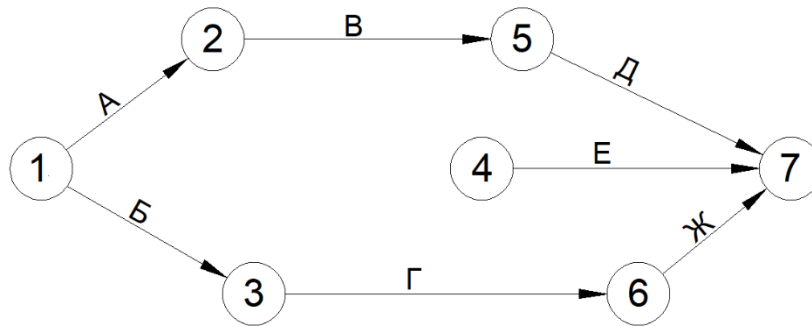


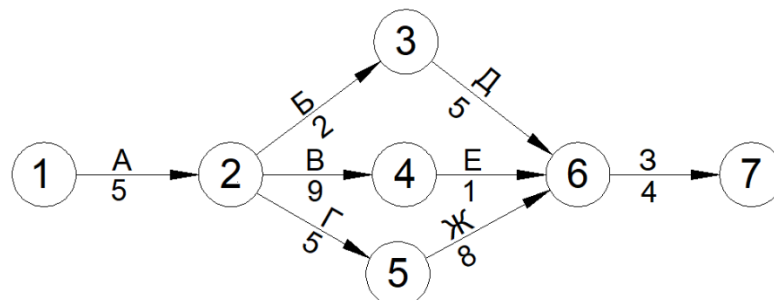
Рисунок 1.12 – Недопустимый для сетевого графика «хвост». Правило №11

12) При укрупнении сетевых графиков группа работ может изображаться как одна работа (рис. 1.13), если в этой группе имеется одно конечное событие и если эти работы выполняются одним исполнителем при наличии в группе входных и выходных работ.

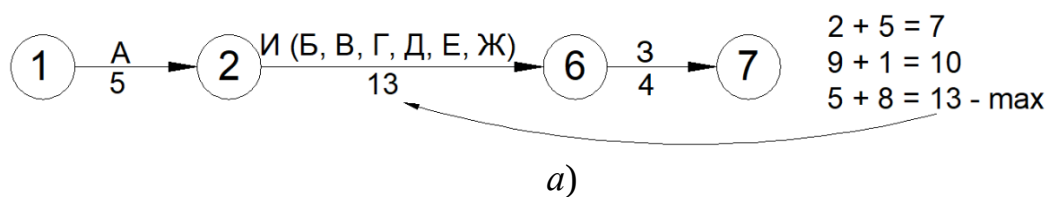
Показаны примеры укрупнения сетевого графика: работа А (рис. 1.13, б), работа М (рис. 1.13, в), где необходимо сохранить события входа или выхода.

Продолжительность укрупненной работы равна продолжительности наибольшего пути от начального до конечного события этой группы работ. Например, на рис. 1.13, а продолжительность укрупненной работы (3-7) равна продолжительности наибольшего пути 3, 6, 7, т.е. 13 ед.

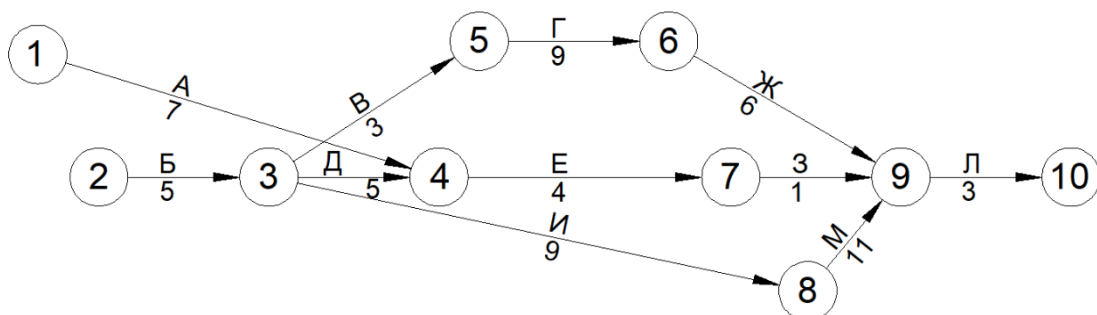
1) до укрупнения



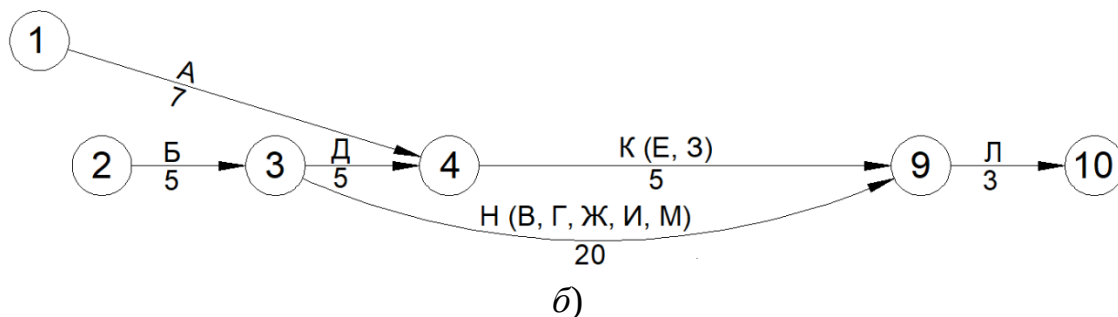
2) после укрупнения



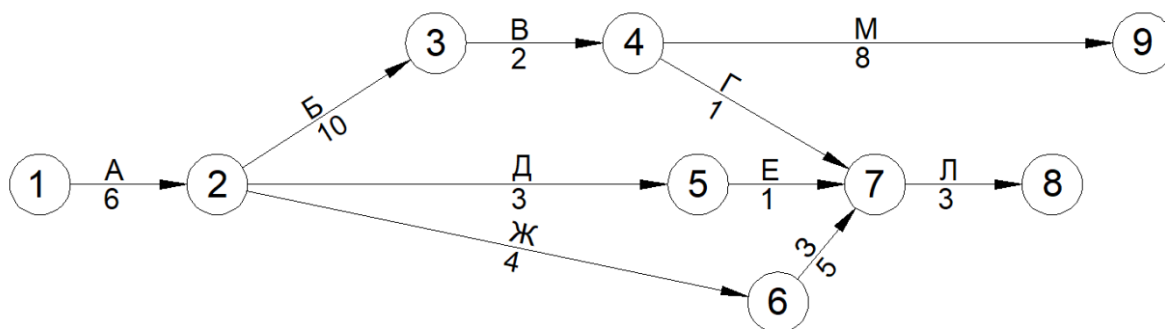
1) до укрупнения



2) после укрупнения



1) до укрупнения



2) после укрупнения

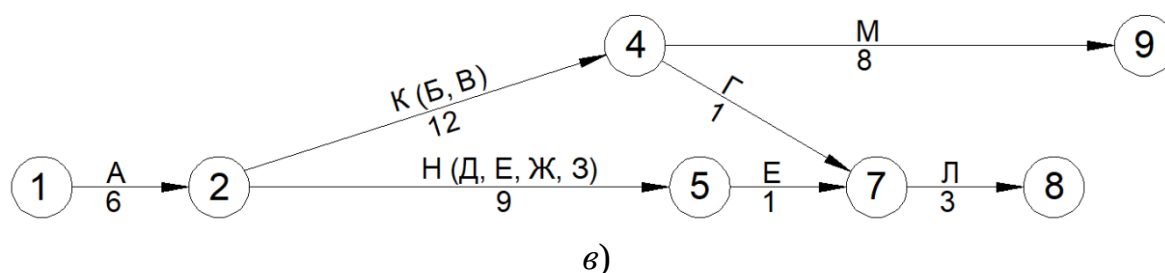


Рисунок 1.13 – Примеры укрупнения сетевого графика:

*а* – без входных и выходных работ;

*б* – с входной работой; *в* – с выходной работой

### 1.2.2. Пример построения классического сетевого графика

Необходимо построить топологию сетевого графика, закодировать работы и определить коэффициент сложности сети. Исходные данные приведены в табл. 1.1. Для упрощения задачи наименования работ обозначены буквами русского алфавита.

Таблица 1.1 – Исходные данные

| № п/п | Работы, окончание которых является необходимым условием для начала рассматриваемой работы | Рассматриваемая работа |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1     | -                                                                                         | А                      |
| 2     | -                                                                                         | Б                      |
| 3     | -                                                                                         | В                      |
| 4     | А                                                                                         | Г                      |
| 5     | А, Б                                                                                      | Д                      |

| № п/п | Работы, окончание которых является необходимым условием для начала рассматриваемой работы | Рассматриваемая работа |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 6     | Б                                                                                         | Е                      |
| 7     | Б                                                                                         | Ж                      |
| 8     | Б, В                                                                                      | З                      |
| 9     | Г                                                                                         | И                      |
| 10    | Д                                                                                         | К                      |
| 11    | Д, Е, Ж                                                                                   | Л                      |
| 12    | Ж                                                                                         | М                      |
| 13    | Ж, З                                                                                      | Н                      |

*Решение:*

Изображение топологии сетевого графика начинаем с исходного события и работ, выходящих из него. Работы, не имеющие предшествующих работ, должны выходить из исходного события. В нашем примере такими работами являются А, Б и В. Вычертим их как показано на рис. 1.14, а. Затем изображаем работы Г, Д, Е, Ж, З, для которых предшествующие – А, Б, В уже вычерчены. Рассмотрим порядок изображения этих работ.

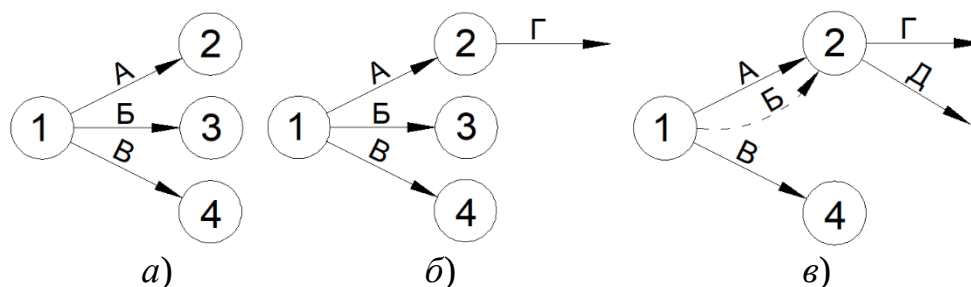


Рисунок 1.14 – Топология сетевого графика:  
а – начало построения; б – построение работы Г;  
в – построение работы Д (неправильное)

Работа Г зависит от работы А, поэтому, поставив событие после окончания работы А, вычертим работу Г. Работу А изобразим в виде стрелки, как показано на рис. 1.14, б.

Работа Д зависит от А и Б. Изображение работы Д, как показано на рис. 1.14, в, будет противоречить исходным данным задачи и правилам кодирования работ, так как работа Г стала зависимой от Б, а работы А и Б получили одинаковый код, что недопустимо при кодировании работ.

Правильное изображение достигается путем введения фиктивных работ А', Б' (рис. 1.15, а). Последующие работы Г, Д, Е, Ж, З показаны на рис. 1.15, б.

Теперь можно изобразить оставшиеся работы И, К, Л, М и Н, так как работы предшествующие им уже вычерчены. Работы И, К, Л, М и Н не являются условиями для выполнения других работ, а поэтому их концы сводятся в одно общее завершающее событие.

Построенная топология представлена на рис. 1.15, в.

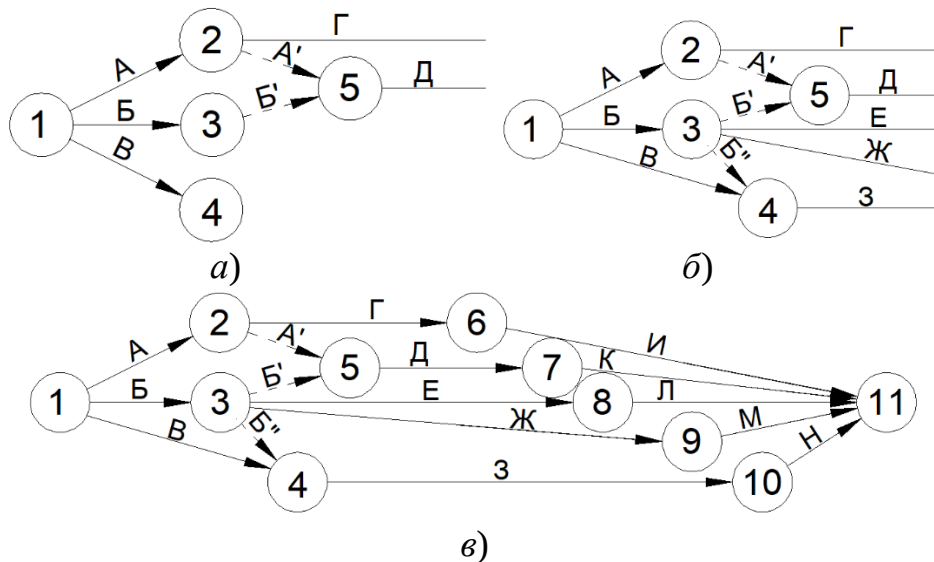


Рисунок 1.15 – Завершение топологии сетевого графика:  
 а – построение работы Д (правильное); б – построение работ Г, Д, Е, Ж, З;  
 в – полная топология сетевого графика

Затем производим кодирование работ топологии сетевого графика. Нумерация событий ведется таким образом, чтобы номер конечного события был больше номера начального события для всех работ топологии. Кодирование начинаем с исходного события и присваиваем ему число 1. Затем даем номера конечным событиям работ А, Б и В, т.е. числа 2, 3 и 4. При таком кодировании работы получили следующие коды: А - (1-2); Б - (1-3); В - (1-4). Аналогично кодируются и остальные работы топологии сетевого графика. Завершающему событию присваиваем число 11.

Для определения коэффициента сложности ( $K_{сл}$ ) сетевого графика подсчитаем количество событий, действительных и фиктивных работ и количество ожиданий.

В нашем примере (рис. 1.15, в) количество событий  $n = 11$ , действительных работ  $D = 13$ , фиктивных работ  $\Phi = 3$ , ожиданий  $O = 0$ .

Коэффициент сложности определяется по формуле:

$$K_{сл} = \frac{D+O+\Phi}{n} = \frac{13+0+3}{11} = 1,45.$$

При построении топологии сетевого графика необходимо стремиться к тому, чтобы количество фиктивных работ было минимальным, так как лишние фиктивные работы усложняют сетевой график и увеличивают время его расчета.

### 1.2.3. Параметры классического сетевого графика

К основным параметрам сетевого графика относятся: критический путь, резервы времени событий и резервы времени работ. Эти параметры являются

исходными для получения ряда дополнительных характеристик, а также анализа сети или, для анализа составленного плана разработки.

Выше уже отмечалось важнейшее свойство критического пути, величина которого определяет сроки выполнения всего планируемого комплекса работ.

Критический путь – это наиболее протяженная по времени цепочка работ, ведущих от исходного к завершающему событию.

Изменение продолжительности любой работы, лежащей на критическом пути, соответственным образом меняет (сокращает или удлиняет срок) наступления завершающего события, т.е. дату достижения конечной цели, ставящейся при планировании разработки.

Свойства, присущие работам критического пути, а также те возможности, которые открываются при использовании этих свойств, в значительной мере и определяют эффективность сетевых графиков.

При планировании комплекса операций критический путь позволяет найти срок наступления завершающего события. В процессе управления ходом разработки внимание руководства сосредоточивается на главном направлении – на работах критического пути. Это позволяет наиболее целесообразно и оперативно контролировать ограниченное количество работ, влияющих на срок разработки, а также лучше использовать ресурсы (трудовые и материальные).

В некоторых случаях в сетевом графике может быть не один, а несколько критических путей, имеющих одинаковую продолжительность, большую, чем продолжительность других путей.

В сетевых графиках имеются и другие пути, опирающиеся на исходное и завершающее события (полные пути), которые могут либо полностью проходить вне критического пути, либо частично совпадать с критической последовательностью работ. Эти пути называются ненапряженными. Ненапряженные пути – это полные пути сетевого графика, которые по продолжительности меньше критического пути.

Ненапряженные пути обладают важным свойством: на участках, не совпадающих с критической последовательностью работ, они имеют резервы времени. Это означает, что задержка в свершении событий, не лежащих на критическом пути, до определенного момента (до исчерпания располагаемых резервов) не влияет на срок завершения разработки в целом.

Критические пути резервами не располагают. Если свершение какого-либо события, находящегося на критическом пути будет задержано, то в соответствии с данным выше определением критического пути, либо будет отодвинуто на тот же срок свершение завершающего события, либо должны быть сокращены на такое же в сумме время продолжительности работ, расположенных на критическом пути после этого события (цепочка последующих работ). Таким образом, если даже удастся обеспечить соблюдение установленного срока свершения завершающего события при затяжке в выполнении какой-либо из работ критического пути, то это достигается за счет переоценки времени выполнения других работ или ускорения сроков их выполнения, а не за счет наличия резервов у работ или событий критического пути.

Из ненапряженных путей наибольший интерес представляют подкритические пути – это ближайшие по продолжительности к критическому, а также наименее напряженные пути. Подкритические пути могут стать критическими в результате сокращения продолжительности работ, лежащих на критическом пути, и таким образом являются потенциально опасными с точки зрения соблюдения сроков завершения разработки. Напротив, наименее напряженные пути не представляют угрозы для нарушения директивных сроков окончания работ и поэтому могут рассматриваться с точки зрения использования ресурсов (рабочей силы, денежных средств), выделенных для их выполнения. Перераспределение этих ресурсов с передачей их на работы критического пути может привести к сокращению продолжительности последнего и, таким образом приблизить срок свершения завершающего события.

Результаты расчетов основных параметров сетевой модели удобно заносить в таблицу. Тогда сразу видно, какие события и работы располагают резервами времени и какова величина этих резервов. Для этого предварительно выполняется расчет двух групп временных характеристик проекта – параметров свершения событий и параметров выполнения работ. К первой группе относятся:

- 1) ранние сроки свершения событий;
- 2) поздние сроки свершения событий;
- 3) резервы событий;
- 4) продолжительность критического пути.

Ко второй группе относятся:

- 1) ранние сроки начала и окончания работ;
- 2) поздние сроки начала и окончания работ;
- 3) резервы работ (полный резерв, свободный резерв, частный резерв первого рода, частный резерв второго рода).

Существуют два подхода к расчету временных характеристик, при которых продолжительности работ считаются:

- а) строго детерминированными величинами;
- б) случайными величинами.

Если обозначить предшествующее событие  $i$ , а последующее  $j$ , то, соответственно, поздний и ранний сроки свершения событий будут обозначаться  $t_{pi}$  и  $t_{pi}$ ,  $t_{pj}$  и  $t_{pj}$ , т.е. внизу индекса, определяющего характер срока свершения события (поздний срок – п или ранний – р), пишется номер события.

Рассмотрение методов сетевого планирования начнем с первого подхода, как более простого в понимании и применении. Он был разработан и впервые использован в начале 1950-х гг., что определило качественный скачок в развитии теории и практики менеджмента проектов. Во всем мире этот подход известен как метод критического пути (*critical path method, CPM*).

Ранний срок свершения события – это наиболее раннее время свершения данного события относительно начала выполнения комплекса работ. Ранний срок свершения события ( $t_{pi}$ ) численно равен продолжительности максимально из путей от начального события сетевой модели до данного события. Отметим, что в реальной крупной сети количество путей от ее начала до любого со-

бытия, расположенного ближе к концу, может быть велико. Поэтому прямо использовать приведенное выше определение для расчета ранних сроков событий не представляется возможным. Для этого используется специальный алгоритм, называемый алгоритмом Форда, существенно сокращающий объем проводимых вычислений:

- 1) для начального события сети всегда  $t_{p1} = 0$ ;
- 2) для каждого последующего события по порядку выбирается максимум по всем его предкам  $t_{pj} = \max\{t_{pi} + t_{ij}\}$ . Результаты расчетов сводятся в таблицу, форма которой представлена ниже (табл. 1.2). Количество записей ( $t_{pi} + t_{ij}$ ) в столбце таблицы равно количеству предков у данного события; максимальное значение как-либо выделяется и используется для расчетов ранних сроков последующих событий.

По определению ранний срок завершающего события сети равен длительности максимального полного пути данной сети, т.е. максимального пути, связывающего начальное и конечное события (критического). Именно этот путь (последовательность работ) определяет срок завершения проекта. Именно на работы критического пути руководители проекта в целом, направлений, тем и т.д. должны обращать основное внимание во избежание срыва сроков выполнения проекта, либо желая ускорить его завершение.

Таким образом, алгоритм Форда позволяет найти продолжительность критического пути  $T_{кр}$ , однако он не дает ответа на вопрос, какая последовательность работ является критической. Работа принадлежит критическому пути, если выполняется условие:  $t_{pj} - t_{pi} = t_{ij}$ , причем проверка начинается с завершающего события и идет к началу сети. Если проверять это условие наоборот от начального события, то ему будет удовлетворять множество работ, составляющих подграф-дерево максимальных путей от начального события до всех событий сети. И только одна ветвь этого дерева будет полной, т.е. явится критическим путем. Проверка условия от завершающего события к началу отсекает все лишние ветви и существенно сокращает объем вычислений.

Поздним сроком свершения события ( $t_{пи}$ ) называется предельное по отношению к началу выполнения комплекса работ время свершения данного события, не влияющее на срок завершения проекта. Т.е. это такое свершение события, превышение которого вызовет логичную задержку наступления завершающего события. Если событие наступило в момент  $t_{п}$ , оно попало в критическую зону и последующие за ним работы должны находиться под таким же контролем, как и работы критического пути. Поздний срок свершения события численно равен разности между длиной критического пути  $T_{кр}$  и продолжительностью максимального из путей от данного события до завершающего  $\mu_i$ :

$$t_{пи} = T_{кр} - \mu_i.$$

Значения  $\mu_i$  могут быть найдены с помощью алгоритма Форда, исполненного в обратную сторону, т.е. от завершающего события к начальному против направления стрелок. Тогда  $\mu_i = \max\{\mu_j + t_{ij}\}$  (максимум отыскивается по всем потомкам  $j$  события  $i$ ) и

$$t_{pi} = T_{кр} - \mu_i = T_{кр} - \max\{\mu_i + t_{ij}\} = \min\{T_{кр} - \mu_i - t_{ij}\},$$

но так как  $t_{pi} = T_{кр} - m_j$ , можно записать  $t_{pi} = \min\{t_{pj} - t_{ij}\}$ . Расчеты поздних сроков выполняются в той же таблице, что и ранних, по аналогичным правилам (табл. 1.2). На основании проверки выполнения условия  $t_{pj} - t_{pi} = t_{ij}$  может быть построено дерево максимальных путей от каждого события сети до завершающего (при проверке от конца к началу) или сразу же выделен критический путь (при проверке от начального события к конечному).

**Ранние и поздние сроки начала и окончания работ.** До сих пор речь шла только о сроках свершения событий. Однако исполнители проекта ориентируются на выполнение работ. Поэтому для их удобства вводится (рассчитывается) еще одна группа временных характеристик проекта, привязанных к работам, а именно:

- раннее начало работы:  $t_{pn}^{ij} = t_{pi}$ ;
- раннее окончание работы:  $t_{po}^{ij} = t_{pi} + t_{ij}$ ;
- позднее окончание работы:  $t_{по}^{ij} = t_{pi}$ ;
- позднее начало работы:  $t_{пн}^{ij} = t_{pi} - t_{ij}$ .

**Резервы времени.** Резервы времени существуют в сетевом графике во всех случаях, когда имеется более одного пути разной продолжительности.

Величины резервов времени должны внимательно анализироваться руководителями комплекса работ.

Резерв времени события – это такой промежуток времени, на который может быть отсрочено свершение этого события без нарушения сроков завершения разработки в целом. Резерв времени события  $R_j$  определяется как разность между поздним  $t_{pj}$  и ранним  $t_{pj}$  сроками свершения события:

$$R_j = t_{пj} - t_{pj}.$$

Резервами времени располагают не только события и пути (кроме критического, как уже отмечалось выше), а также работы, лежащие на некритических путях. Существуют два вида резервов работ – полный и свободный, причем анализ каждого из них имеет для менеджера свой смысл:

- полный резерв работы:  $R_n^{ij} = t_{пj} - t_{pi} - t_{ij}$ ;
- свободный резерв работы:  $R_c^{ij} = t_{pj} - t_{pi} - t_{ij}$ .

Полный резерв – это максимальный резерв работы. Он образуется, если событие-предок свершается в ранний срок, а событие-потомок – в поздний. Если работа использует полный резерв, то в сети появляется новый критический путь, проходящий через нее, и, следовательно, все работы, лежащие на этом пути, полностью лишаются резервов. Частично при этом лишаются резервов и работы, связанные с этим путем, т. е. такие работы, у которых только предок или потомок лежат на этом пути.

Свободный резерв времени – это максимальное количество времени, на которое можно увеличить продолжительность работы или отсрочить ее начало, не изменяя при этом ранних сроков начала последующих работ, при условии, что начальное событие этой работы наступило в свой ранний срок.

Используя свободный резерв времени, ответственные исполнители могут маневрировать в его пределах сроком начала данной работы или ее продолжительностью. Это важное свойство резерва времени должно учитываться исполнителями при автономном выполнении отдельно взятых работ, располагающих этим резервом

Резервы времени работы позволяют маневрировать сроком начала и окончания работы, ее продолжительностью. При отсутствии резервов нет возможности маневрирования. Именно поэтому на эти работы и обращено в основном внимание руководства.

В то же время необходимо правильно использовать имеющиеся резервы. На рис. 1.16 представлена графическая интерпретация возможностей использования полного и свободного резервов времени работ.

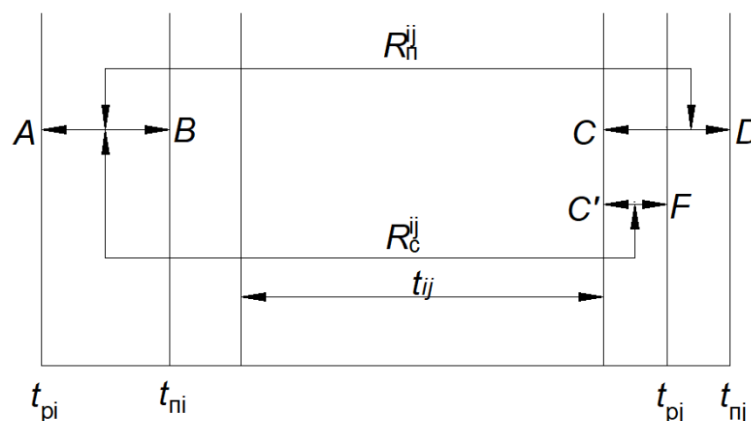


Рисунок 1.16 – Графическое изображение возможностей использования резервов

На этом графике (рис. 1.16.) ось абсцисс является осью времени, поэтому все построения вдоль этой оси, в том числе продолжительность работы  $t_{ij}$ , даются в соответствующем масштабе.

Полный резерв времени работы может быть распределен, как отмечалось, между работами, находящимися на пути, которому принадлежит данная работа. При этом и начальное и конечное событие этой работы могут располагать резервами времени.

Графически полный резерв времени может быть представлен как сумма двух отрезков  $AB$  и  $CD$ . Каждый из этих отрезков охватывает величину резерва времени соответствующего события ( $R_i = t_{ni} - t_{pi}$  и  $R_j = t_{nj} - t_{pj}$ ) и величину возможного смещения начала или окончания работы. Эти последние величины зависят, естественно, от продолжительности самой работы.

Сумма отрезков  $AB$  и  $C'F$  дает величину свободного резерва  $R_c^{ij}$ . Свободный резерв – это независимый резерв. Его использование на какой-либо работе не меняет величины свободных резервов остальных работ сети, так как при его

исчислении в качестве плановых сроков начала выполнения всех работ приняты ранние сроки наступления событий.

Ответственные исполнители, располагая графиками, характеризующими резервы закрепленных за ними работ, видят возможности маневрирования ресурсами времени.

#### 1.2.4. Анализ вероятности завершения проекта в срок

На практике при формировании первичных сетевых моделей бывает сложно дать точную оценку длительности выполнения отдельных работ. Особенно если это работы творческие по содержанию (например, исследовательские, конструкторские и др.). Тогда используется второй подход к расчету временных характеристик проекта: продолжительности работ считаются случайными величинами и задаются с помощью системы оценок.

В 1958 г. был разработан и впервые применен новый метод сетевого анализа – метод *PERT* (*program evaluation and review technique*), или метод оценки и пересмотра программ. Метод *PERT* использует статистические данные для количественной оценки неопределенности, которая может встретиться при выполнении физических, а особенно – умственных работ. Он весьма эффективен там, где до сих пор не было основы для установления норм времени, необходимого для выполнения каждой из таких работ.

Напомним, что для задания случайной величины, как правило, достаточно указать:

- 1) закон ее распределения;
- 2) математическое ожидание;
- 3) дисперсию.

Однозначного решения относительно закона распределения продолжительностей работ нет. Ученые склоняются к двум вариантам, которым соответствуют два подхода:

1. Если длительность работ считать подчиняющейся нормальному закону распределения, то следует использовать двухоценочную систему, в которой для каждой работы задаются оптимистическая оценка длительности ( $a_{ij}$ ) и ее пессимистическая оценка ( $b_{ij}$ ). Причем  $a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij}$ .

При этом рассчитывается математическое ожидание длительности работы  $\bar{t}_{ij}$ :

$$\bar{t}_{ij} = \frac{3a_{ij} + 2b_{ij}}{5},$$

а также дисперсия длительности  $\sigma_{ij}^2$ :

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{(b_{ij} - a_{ij})^2}{25}.$$

2. Если длительность работ считать подчиняющейся закону Пирсона, то следует использовать трехоценочную систему, в которой дополнительно задается  $m$  – медиана, а расчеты выполняются несколько иначе:

$$\bar{t}_{ij} = \frac{a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}}{6},$$

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{(b_{ij} - a_{ij})^2}{36}.$$

Далее могут быть рассчитаны все временные характеристики проекта с помощью уже известных алгоритмов.

Поскольку в алгоритмах используются только действия сложения вычитания и применяются они к математическим ожиданиям длительности работ, то и результат любого расчета также будет представлять собой математическое ожидание случайной величины. Ее дисперсия будет равна сумме дисперсий работ, которые участвовали в расчете. Определенные таким образом параметры проекта в силу центральной предельной теоремы теории вероятности распределены по нормальному закону. Все сказанное справедливо лишь для достаточно больших проектов, где при расчетах параметров суммируются более десятка случайных величин – длительностей работ. Стохастическая постановка управления проектами позволяет решить две специфические задачи:

1) определить, с какой вероятностью проект будет завершен к плановому сроку;

2) рассчитать, к какому сроку проект может быть завершен с заданной вероятностью.

Для решения обеих задач используется  $\xi$ -нормированное отклонение случайной величины, распределенной нормально, или квантиль. Если задан плановый срок  $T_{пл}$ , то выполняется расчет:

$$\xi(p) = \frac{T_{пл} - T_{кр}}{\sigma_{кр}^2},$$

где  $T_{кр}$  – математическое ожидание длины критического пути;

$\sigma_{кр}^2$  – дисперсия критического пути, рассчитанная как сумма дисперсий работ, лежащих на критическом пути:

$$\sigma_{кр}^2 = \sum_{ij \in T_{кр}} \sigma_{ij}^2.$$

Затем по таблице накопленной (интегральной) вероятности для нормального закона распределения отыскивается значение искомой вероятности. Если задана требуемая вероятность завершения проекта  $p_0$ , то по той же таблице для нее определяется значение квантиля и выполняется расчет ожидаемого срока по формуле:

$$T_{ож} = T_{кр} + \xi(p_0)\sigma_{кр}.$$

### 1.3. Современные сетевые графики

Элементная база современных сетевых моделей претерпела изменение. В ней отсутствует элемент «событие», используемый ранее. В построении участвует элемент «работа», которая имеет порядковый номер, длительность, раннее и позднее время выполнения работы, а также резерв времени работы.

Работа – это процесс.

В основе графического представления современных моделей лежит процессный подход. И кибернетическая модель процесса напоминает графический образ «черного ящика», со входящими и выходящими потоками, наиболее ярко представленными в SADT модели и исполненная инструментальными средствами ERWin. Поэтому в графическом представлении современных сетевых графиков используются прямоугольники, а не круги, как ранее.

Параметры элемента «работа-процесс» показаны на рисунке 1.17.

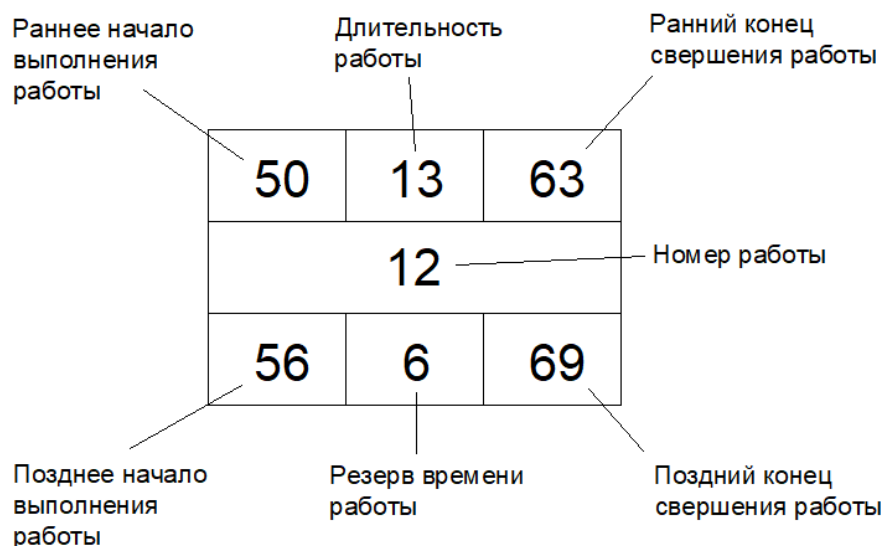


Рисунок 1.17 – Параметры элемента «работа-процесс»

### 1.4. Методы решения сетевых графиков

#### 1.4.1. Расчёт критического пути

##### 1.4.1.1. Расчет критического пути на классической сетевой модели

Сетевая модель графика с трудоемкостью работ представлена на рис. 1.18. Особенностью модели является наличие двух видов элементов графика: «работа» (А, Б, ... Н, Л) и событие (1, 2, ... 5, 6). Необходимо рассчитать критический путь.

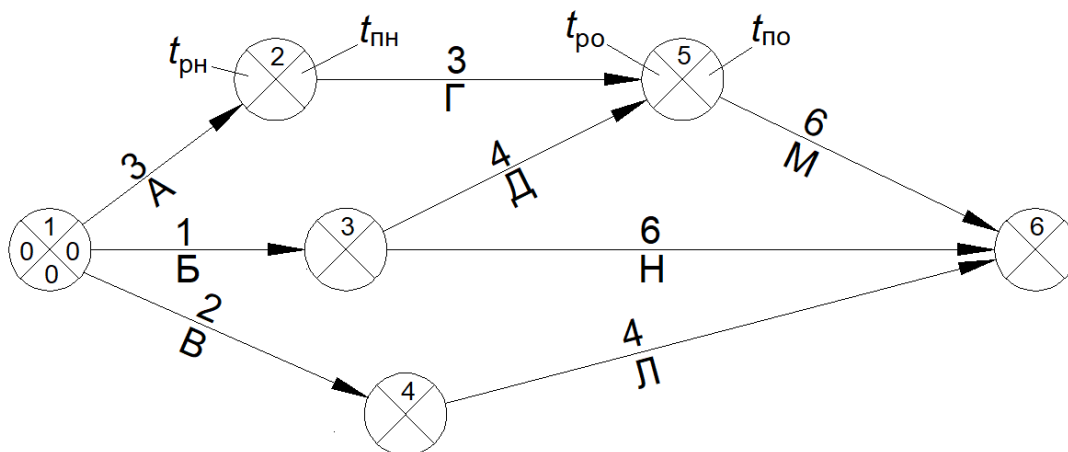


Рисунок 1.18 – Исходные данные сетевой модели:

$t_{рн}$  – раннее начало,  $t_{ро}$  – раннее окончание (для работы «Г»);  
 $t_{пн}$  – позднее начало,  $t_{по}$  – позднее окончание (для работы «Г»)

Расчет критического пути сетевого графика производится последовательно: сначала определяются ранние сроки свершения событий (раннее начало и раннее окончание) от исходного до завершающего события, затем, в обратной последовательности определяются поздние сроки свершения событий (позднее начало и позднее окончание) (рис. 1.19). Критический путь обозначается двойной линией.

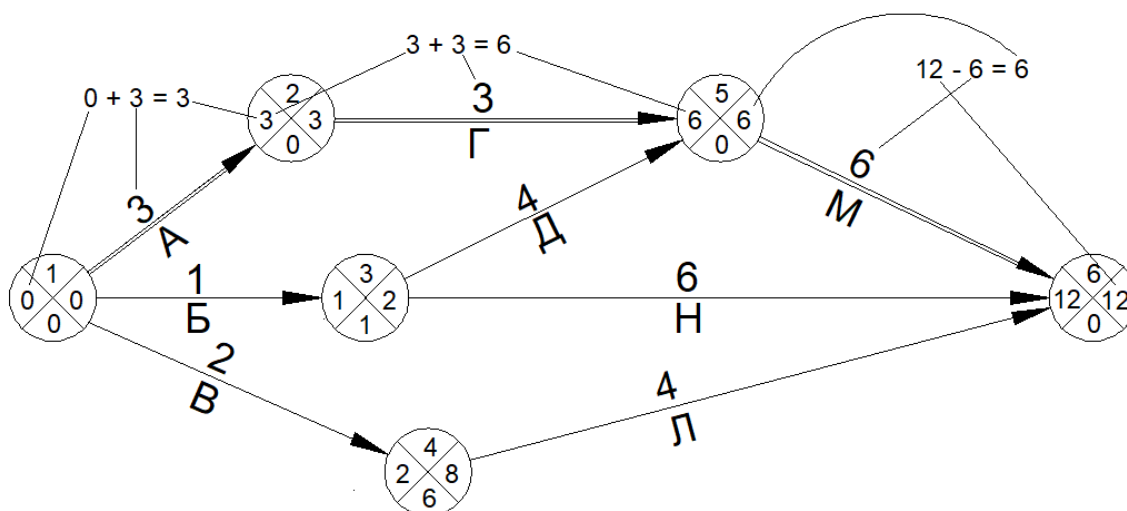


Рисунок 1.19 – Расчет критического пути классической сетевой модели

#### 1.4.1.2. Расчет критического пути на современной сетевой модели

Перестроим сетевую модель, представленную на рис. 1.19. На рис. 1.20 представлена модель в современном представлении, особенностью которой является то, что она имеет один элемент сети – «работу» или процесс. Элемент графика «событие» на данной модели отсутствует.

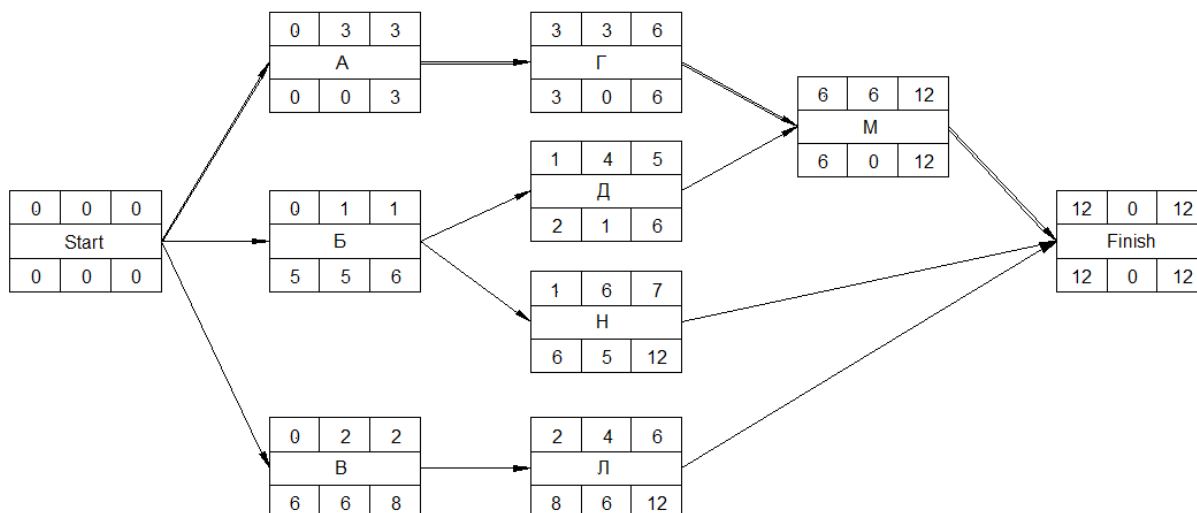


Рисунок 1.20 – Модель графика с одним элементом сети – «работа»

Расчет ранних и поздних сроков окончания работ на сетевом графике и определение критического пути ведется аналогично, как на классических сетевых графиках. Пример расчета элемента сети представлен на рис. 1.21.

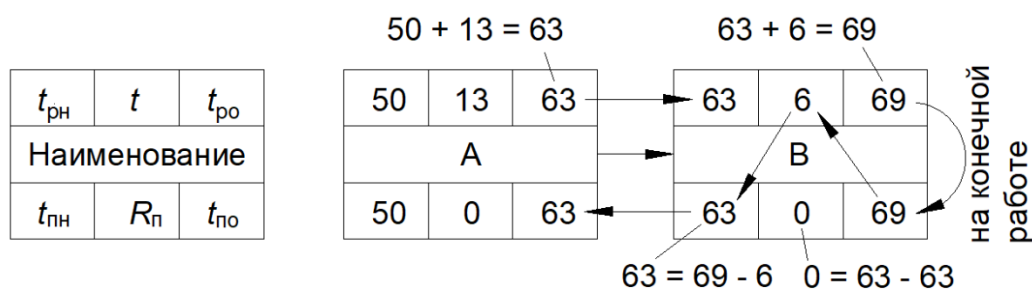


Рисунок 1.21 – Пример расчета элемента графика

#### 1.4.2. Расчёт классической сетевой модели методом Форда

Пусть задана сетевая модель проекта (рис. 1.22). Длительность работ указана на модели около каждой из них. Требуется рассчитать все временные характеристики проекта, указать, как проходит критический путь.

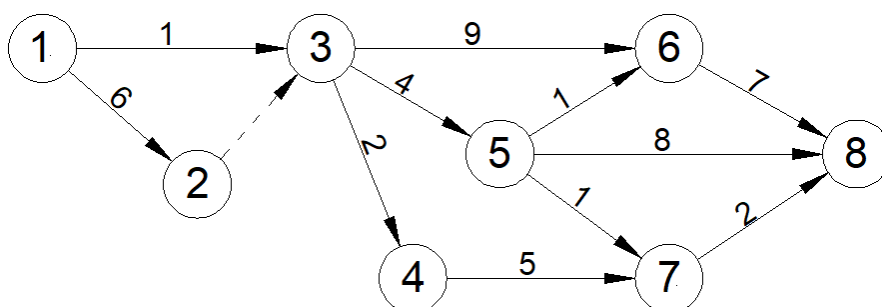


Рисунок 1.22 – Сетевая модель проекта

Результаты расчетов ранних и поздних сроков свершения событий методом Форда сведены в табл. 1.2. Причем расчет поздних сроков выполнен двумя методами – через промежуточные величины  $\mu$  и без них. Оба расчета имеют одинаковую силу, поэтому пользоваться можно любым из них. Напомним, что ранние сроки представлены в таблице слева направо, а значения  $\mu$  и поздние сроки – справа налево. В таблицу также включен расчет резервов событий.

Таблица 1.2 – Результаты расчетов сроков свершения событий

| Параметры                       | События  |    |               |    |                |          |          |                |
|---------------------------------|----------|----|---------------|----|----------------|----------|----------|----------------|
|                                 | 1        | 2  | 3             | 4  | 5              | 6        | 7        | 8              |
| Ранние сроки свершения событий  | 0        | 6  | 1<br>6        | 8  | 10             | 15<br>11 | 11<br>13 | 22<br>18<br>15 |
|                                 | 0        | 6  | 6             | 8  | 10             | 15       | 13       | 22             |
| Промежуточные величины $\mu$    | 22<br>17 | 16 | 9<br>12<br>16 | 7  | 8<br>8<br>3    | 7        | 2        | 0              |
|                                 | 22       | 16 | 16            | 7  | 8              | 7        | 2        | 0              |
| Поздние сроки свершения событий | 0<br>5   | 6  | 13<br>10<br>6 | 15 | 14<br>19<br>14 | 15       | 20       | 22             |
|                                 | 0        | 6  | 6             | 15 | 14             | 15       | 20       | 22             |
| Резервы событий                 | 0        | 0  | 0             | 7  | 4              | 0        | 7        | 0              |

События на критическом пути всегда имеют нулевой резерв. Однако пользоваться этим свойством для отыскания последовательности критических работ надо осторожно. Например, для нашей сети, используя его, нельзя ответить на вопрос, единственен ли критический путь, проходящий по работам 1-2, 2-3 и далее, или есть второй – через работу 1-3.

Отыщем критический путь, следуя приведенному ранее алгоритму. Начнем с завершающего события:

$$t_{p8} - t_{p7} = 22 - 13 = 9 > t_{78};$$

$$t_{p8} - t_{p6} = 22 - 15 = 7 = t_{68};$$

$$t_{p8} - t_{p5} = 22 - 10 = 12 > t_{58}.$$

Это означает, что работа 6-8 является критической и продолжать проверку следует для события 6:

$$t_{p6} - t_{p3} = 15 - 6 = 9 = t_{36};$$

$$t_{p6} - t_{p5} = 15 - 10 = 5 > t_{56}.$$

Фиктивная работа 2-3 также принадлежит критическому пути, и проверку завершим работой 1-2:

$$t_{p2} - t_{p1} = 6 - 0 = 6 = t_{12}.$$

Таким образом, критический путь включает работы 1-2, 2-3, 3-6 и 6-8. Результаты расчетов раннего и позднего начала и окончания работ, а также всех четырех резервов работ приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты расчетов начала, окончания и резервов работ

| Работа,<br>$ij$ | $t_{ij}$ | Начало и окончание работ |          |          |          | Резервы работ |              |
|-----------------|----------|--------------------------|----------|----------|----------|---------------|--------------|
|                 |          | $t_{рн}$                 | $t_{ро}$ | $t_{пн}$ | $t_{по}$ | $R_{п}^{ij}$  | $R_{с}^{ij}$ |
| 1-2             | 6        | 0                        | 6        | 0        | 6        | 0             | 0            |
| 1-3             | 1        | 0                        | 1        | 5        | 6        | 5             | 5            |
| 2-3             | 0        | 6                        | 6        | 6        | 0        | 0             | 0            |
| 3-4             | 2        | 6                        | 8        | 13       | 15       | 7             | 7            |
| 3-5             | 4        | 6                        | 10       | 10       | 14       | 4             | 4            |
| 3-6             | 9        | 6                        | 15       | 6        | 15       | 0             | 0            |
| 4-7             | 5        | 8                        | 13       | 15       | 20       | 7             | 0            |
| 5-6             | 1        | 10                       | 11       | 14       | 15       | 4             | 0            |
| 5-7             | 1        | 10                       | 11       | 19       | 20       | 9             | 5            |
| 5-8             | 8        | 10                       | 18       | 14       | 22       | 4             | 0            |
| 6-8             | 7        | 15                       | 22       | 15       | 22       | 0             | 0            |
| 7-8             | 2        | 13                       | 15       | 20       | 22       | 7             | 0            |

### 1.4.3. Матричный метод расчёта классической сетевой модели

Для расчета матричным методом воспользуемся сетевым графиком, рассмотренным ранее и представленным на рис. 1.19.

Количество столбцов и строк равно количеству событий.

В правой части таблицы над диагональю записываются трудоемкости работ. Так, например, трудоемкость работы 1-2 равна 3 дням, а для работы 3-5 величина трудоемкости – 4 дня (табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Матрица сетевой модели

| Номер строки | Номер столбца |   |   |   |   |    |
|--------------|---------------|---|---|---|---|----|
|              | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6  |
| 1            | 0             | 3 | 1 | 2 |   |    |
| 2            |               | 3 |   |   | 3 |    |
| 3            |               |   | 1 |   | 4 | 6  |
| 4            |               |   |   | 2 |   | 4  |
| 5            |               |   |   |   | 6 | 6  |
| 6            |               |   |   |   |   | 12 |

- цикл работы (трудоемкость);
- ранний срок свершения события;
- поздний срок свершения события.

Заполняются сначала ранние сроки свершения событий – над диагональю:

$$t_{p2} = t_0 + t_{1-2} = 0 + 3 = 3 \text{ (3 записываем над диагональю);}$$

$$t_{p5} = t_{p2} + t_{2-5} = 3 + 3 = 6;$$

$$t_{p5} = t_{p3} + t_{3-5} = 1 + 4 = 5 \text{ (из 5 и 6 выбираем наибольшее, т.е. = 6).}$$

В обратной последовательности заполняются поздние сроки свершения событий – под диагональю.

Если на пересечении строки и столбца ранние и поздние сроки свершения событий равны, то в этом пересечении резерв времени равен нулю и по этим событиям проходит критический путь.

#### 1.4.4. Табличный метод расчёта классической сетевой модели

В таблице 1.5 показана последовательность расчетов. В колонках 1, 2 заполняются номера событий, в 3-й колонке – величина работы.

Начинаем с расчета ранних сроков свершения событий. Заполняем построчно колонки 4 и 5. Спускаемся вниз до последней строки – последнего события.

После заполненных колонок 4 и 5 начинаем движение построчно вверх. Рассчитываем и заполняем строки колонок 6 и 7.

Формулы для расчета ранних и поздних сроков приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Схема расчёта табличным методом

| $i$ | $j$ | $t_{ij}$ | Раннее                                        |                                      | Позднее                              |                                  | Резерв                                                                                      |                                  |
|-----|-----|----------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|     |     |          | начало<br>$t_{рн}^{ij}$                       | окончание<br>$t_{ро}^{ij}$           | начало<br>$t_{пн}^{ij}$              | окончание<br>$t_{по}^{ij}$       | полный<br>$R_{п}^{ij}$                                                                      | свободный<br>$R_{с}^{ij}$        |
| 1   | 2   | 3        | 4                                             | 5                                    | 6                                    | 7                                | 8                                                                                           | 9                                |
|     |     |          | $t_{рн1} = 0$<br>$t_{рнi} = \max t_{ро}^{ij}$ | $t_{ро}^{ij} = t_{рн}^{ij} + t_{ij}$ | $t_{пн}^{ij} = t_{по}^{ij} - t_{ij}$ | $t_{по}^{ij} = \min t_{пн}^{ij}$ | $R_{п}^{ij} = t_{пн}^{ij} - t_{рн}^{ij}$<br>или<br>$R_{п}^{ij} = t_{по}^{ij} - t_{ро}^{ij}$ | $R_{с}^{ij} = t_{рнj} - t_{роi}$ |

Свободный резерв времени вычисляется по правилу «параллелограмма» и показан в примере табл. 1.6.

Пример расчета табличным методом покажем для рассмотренной сетевой модели (рис. 1.19).

Таблица 1.6 – Пример расчёта сетевой модели табличным методом

| $i$ | $j$ | $t_{ij}$ | Раннее                         |                                   | Позднее                        |                                   | Резерв                        |                                  |
|-----|-----|----------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
|     |     |          | начало<br>$t_{\text{рн}}^{ij}$ | окончание<br>$t_{\text{ро}}^{ij}$ | начало<br>$t_{\text{пн}}^{ij}$ | окончание<br>$t_{\text{по}}^{ij}$ | полный<br>$R_{\text{п}}^{ij}$ | свободный<br>$R_{\text{с}}^{ij}$ |
| 1   | 2   | 3        | 0                              | 3                                 | 3 - 3 = 0                      | 6 - 3 = 3                         | 0                             | 3 - 3 = 0                        |
| 1   | 3   | 1        | 0                              | 1                                 | 2 - 1 = 1                      | 6 - 4 = 2                         | 1                             | 0                                |
| 1   | 4   | 2        | 0                              | 2                                 | 8 - 2 = 6                      | 12 - 4 = 8                        | 6 - 0 = 6                     | 2 - 2 = 0                        |
| 2   | 5   | 3        | 3                              | 6                                 | 6 - 3 = 3                      | 12 - 6 = 6                        | 0                             | 0                                |
| 3   | 5   | 4        | 1                              | 5                                 | 6 - 4 = 2                      | 12 - 6 = 6                        | 2 - 1 = 1                     | 6 - 5 = 1                        |
| 3   | 6   | 6        | 1                              | 7                                 | 12 - 6 = 6                     | 12                                | 5                             | 12 - 7 = 5                       |
| 4   | 6   | 4        | 2                              | 6                                 | 12 - 4 = 8                     | 12                                | 8 - 2 = 6                     | 12 - 6 = 6                       |
| 5   | 6   | 6        | 6                              | 12                                | 12 - 6 = 6                     | 12                                | 6 - 6 = 0                     | 12 - 12 = 0                      |
| 6   | -   | -        | 12                             | -                                 | -                              | -                                 | -                             | -                                |

#### 1.4.5. Расчёт вероятности завершения проекта в срок

Пусть задана вероятностная сетевая модель проекта, топология которой показана на рис. 1.23, а оценки длительности работ сведены в табл. 1.7. Требуется определить, с какой вероятностью проект будет завершён к следующим срокам: а)  $T_{\text{пл}} = 160$  дн.; б)  $T_{\text{пл}} = 159$  дн.; в)  $T_{\text{пл}} = 155$  дн.; а также к какому сроку завершится проект со следующими вероятностями: а)  $p_0 = 0,8$ ; б)  $p_0 = 0,5$ ; в)  $p_0 = 0,1$ .

Таблица 1.7 – Результаты расчёта длительности работ

| Код работы | Оценки длительности работы |          |          | $t_{ij}$ | $\sigma_{ij}^2$ | Код работы | Оценки длительности работы |          |          | $t_{ij}$ | $\sigma_{ij}^2$ |
|------------|----------------------------|----------|----------|----------|-----------------|------------|----------------------------|----------|----------|----------|-----------------|
|            | $a_{ij}$                   | $m_{ij}$ | $b_{ij}$ |          |                 |            | $a_{ij}$                   | $m_{ij}$ | $b_{ij}$ |          |                 |
| 1-2        | 19                         | 22       | 25       | 22,00    | 1,00            | 8-14       | 17                         | 18       | 20       | 18,17    | 0,25            |
| 1-3        | 7                          | 8        | 9        | 8,00     | 0,11            | 9-11       | 0                          | 0        | 0        | 0        | 0               |
| 1-6        | 1                          | 2        | 3        | 2,00     | 0,11            | 9-12       | 0                          | 0        | 0        | 0        | 0               |
| 2-3        | 0                          | 0        | 0        | 0        | 0               | 9-13       | 11                         | 13       | 14       | 12,83    | 0,25            |
| 3-4        | 15                         | 17       | 19       | 17,00    | 0,44            | 10-12      | 0                          | 0        | 0        | 0        | 0               |
| 3-5        | 11                         | 12       | 14       | 12,17    | 0,25            | 11-15      | 6                          | 7        | 8        | 7,00     | 0,11            |
| 4-5        | 0                          | 0        | 0        | 0        | 0               | 12-13      | 24                         | 27       | 30       | 26,30    | 1,00            |
| 5-7        | 16                         | 20       | 25       | 20,17    | 2,25            | 13-15      | 18                         | 20       | 23       | 20,17    | 0,69            |
| 5-8        | 1                          | 2        | 3        | 2,00     | 0,11            | 14-15      | 5                          | 9        | 12       | 8,83     | 1,36            |
| 6-9        | 2                          | 3        | 4        | 3,00     | 0,11            | 14-16      | 10                         | 11       | 13       | 11,17    | 0,25            |
| 6-10       | 2                          | 3        | 4        | 3,00     | 0,11            | 15-17      | 14                         | 18       | 20       | 17,67    | 1,00            |
| 6-12       | 2                          | 3        | 4        | 3,00     | 0,11            | 16-17      | 1                          | 6        | 9        | 5,67     | 1,78            |
| 7-9        | 22                         | 26       | 29       | 25,83    | 1,36            | 17-18      | 8                          | 10       | 13       | 10,17    | 0,69            |
| 7-11       | 4                          | 5        | 6        | 5,00     | 0,11            |            |                            |          |          |          |                 |

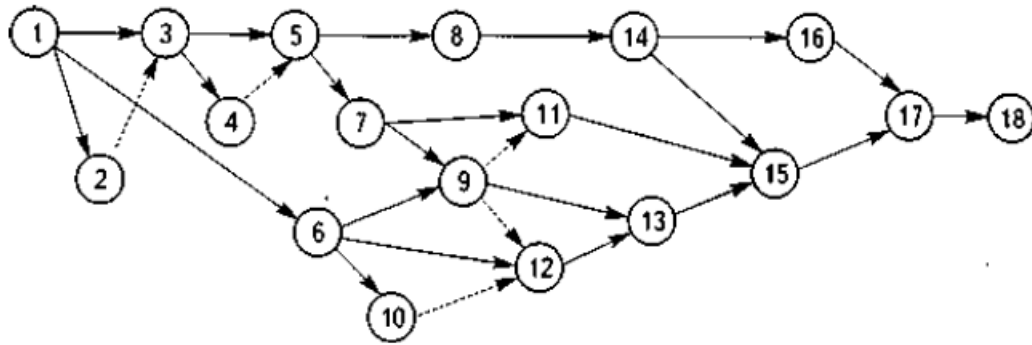


Рисунок 1.23 – Исходная сетевая модель проекта для стохастического расчета

В табл. 1.7 показаны также результаты расчета математических ожиданий и дисперсий длительности всех работ сети. Выделены дисперсии работ критического пути, в сумме составляющие  $\sigma_{кр}^2 = 8,44$ . Расчет ранних сроков событий, в том числе продолжительности критического пути, нахождение последовательности работ критического пути выполнены с помощью метода Форда (табл. 1.8).

Таблица 1.8 – Результаты расчета ранних сроков событий

|              | События |             |              |                 |             |                   |       |              |         |
|--------------|---------|-------------|--------------|-----------------|-------------|-------------------|-------|--------------|---------|
| Ранние сроки | 1       | 2           | 3            | 4               | 5           | 6                 | 7     | 8            | 9       |
|              | 0       | 22          | 8<br>22      | 39              | 34,17<br>39 | 2                 | 59,17 | 41           | 85<br>5 |
|              | 0       | 22          | 22           | 39              | 39          | 2                 | 59,17 | 41           | 85      |
|              | События |             |              |                 |             |                   |       |              |         |
| Ранние сроки | 10      | 11          | 12           | 13              | 14          | 15                | 16    | 17           | 18      |
|              | 5       | 85<br>64,17 | 85<br>5<br>5 | 97,83<br>111,33 | 59,17       | 68<br>92<br>131,5 | 70,33 | 76<br>149,17 | 159,33  |
|              | 5       | 86          | 86           | 111,33          | 59,17       | 131,5             | 70,33 | 149,17       | 159,33  |

Рассчитаем значения квантиля для трех вариантов прямой задачи и найдем по ним вероятности, используя таблицу значений функции накопленной вероятности:

а)  $T_{пл} = 160$  дн.:

$$\xi(p) = \frac{160-159,33}{2,906} = 0,2305, \Rightarrow p = 0,5 + 0,0909 = 0,5909;$$

б)  $T_{пл} = 159$  дн.:

$$\xi(p) = \frac{159-159,33}{2,906} = -0,1136, \Rightarrow p = 0,5 - 0,0457 = 0,4543;$$

в)  $T_{пл} = 155$  дн.:

$$\xi(p) = \frac{155-159,33}{2,906} = -1,4900, \Rightarrow p = 0,5 - 0,4319 = 0,0681.$$

Теперь используя ту же таблицу, отыщем квантили по заданным значениям вероятности и на их основе рассчитаем ожидаемые сроки завершения проекта:

а)  $p_0 = 0,8 \Rightarrow \xi(p_0) = 0,841,$

$$T_{ож} = 159,33 + 0,841 \cdot 2,906 = 161,77 \text{ дн.};$$

$$б) p_0 = 0,5 \Rightarrow \xi(p_0) = 0,$$

$$T_{ож} = 159,33 + 0 \cdot 2,906 = 159,33 \text{ дн.};$$

$$а) p_0 = 0,1 \Rightarrow \xi(p_0) = -1,281,$$

$$T_{ож} = 159,33 - 1,281 \cdot 2,906 = 155,61 \text{ дн.}$$

Логично было бы предполагать, что вероятность завершения проекта к сроку, превышающему математическое ожидание  $T_{кр}$ , окажется более 50%, к сроку меньшему, чем математическое ожидание  $T_{кр}$ , - менее 50%, а с вероятностью 50% проект завершится именно к этому сроку. Расчеты полностью подтверждают логику наших рассуждений.

## 1.5. Оптимизация сетевых графиков

### 1.5.1. Оптимизация времени выполнения проекта с ограниченным ресурсом исполнителей и расстановкой их на критическом пути

Необходимо найти вектор распределения дополнительных ресурсов по работам сетевого комплекса, если дополнительный ресурс – 3 единицы (3 человека).

Исходные данные представлены в виде сетевой модели на рис. 1.24.

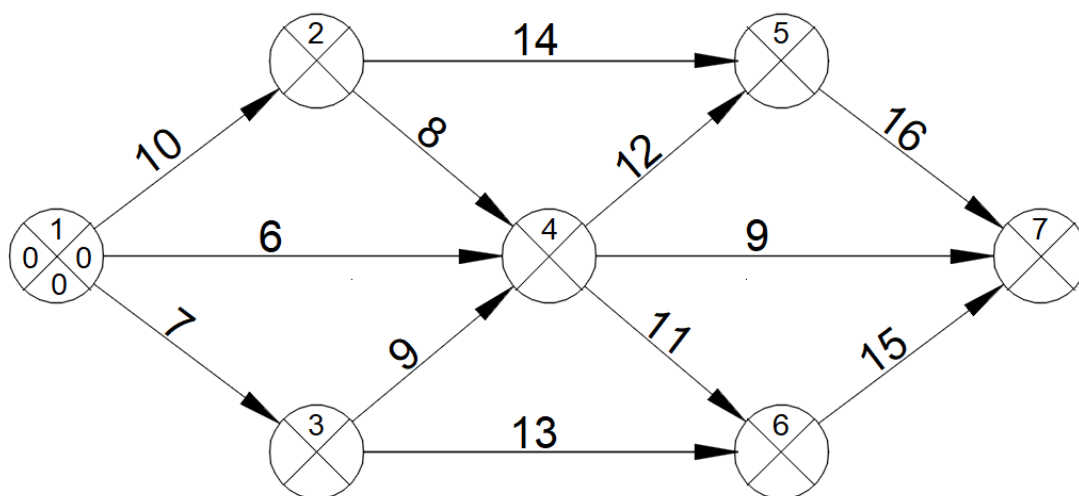


Рисунок 1.24 – Исходная сетевая модель с трудоемкостью работ

Рассчитаем критический путь для нескольких вариантов: без дополнительных исполнителей, один дополнительный исполнитель, два и три (максимальное по заданию) дополнительных исполнителя.

1. Расчет критического пути по исходным данным (без дополнительных исполнителей).

Неизрасходованный ресурс исполнителей – 3 чел.

Израсходованный ресурс  $x = 0$ . Расчет представлен на рис. 1.25.

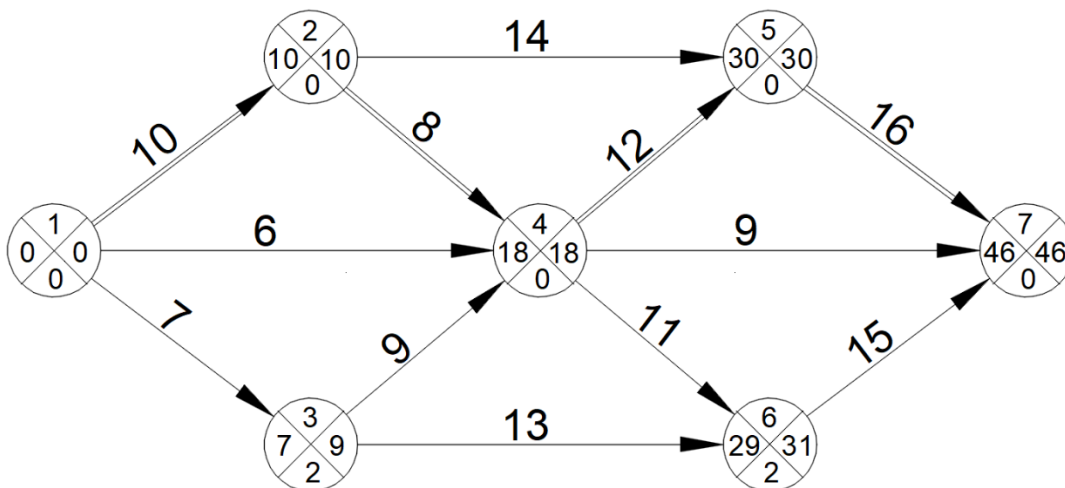


Рисунок 1.25 – Определение критического пути и его длительности при  $x = 0$

2. Расчет критического пути при израсходованном ресурсе 1 чел. Расстановка исполнителя ( $x = 1$ ) по работам критического пути.

Неизрасходованный ресурс исполнителей – 2 чел.

Израсходованный ресурс  $x = 1$ . Расчет представлен на рис. 1.26.

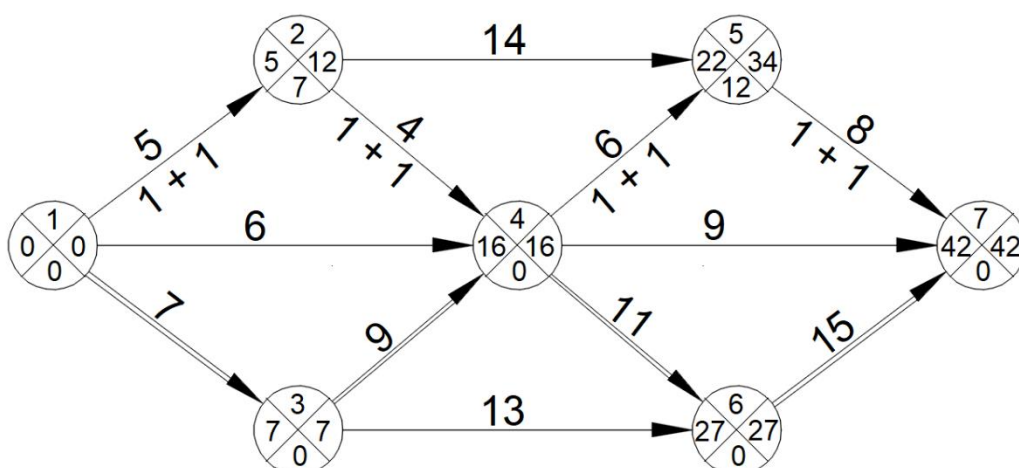


Рисунок 1.26 – Определение критического пути и его длительности при  $x = 1$

3. Расчет критического пути при израсходованном ресурсе 2 человека. Расстановка исполнителей ( $x = 2$ ) по работам критического пути.

Неизрасходованный ресурс исполнителей – 1 чел.

Израсходованный ресурс  $x = 2$ . Расчет представлен на рис. 1.27.

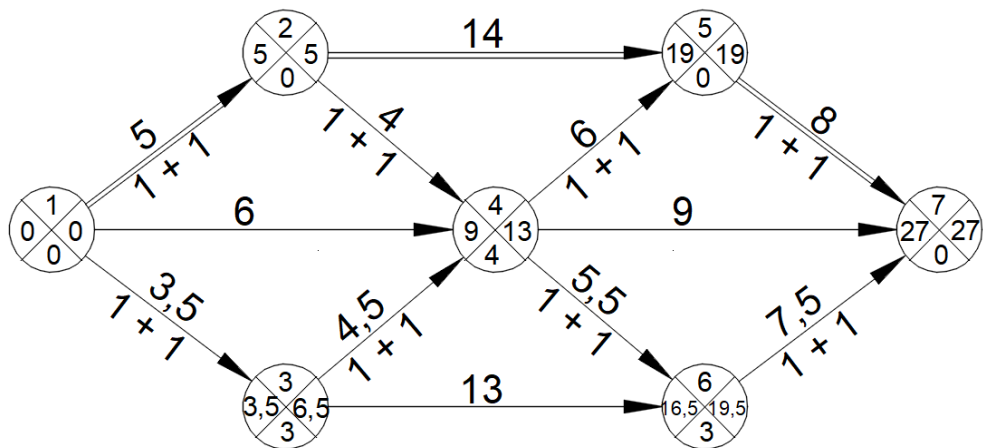


Рисунок 1.27 – Определение критического пути и его длительности при  $x = 2$

4. Расчет критического пути при израсходованном ресурсе 3 человека. Расстановка исполнителей ( $x = 3$ ) по работам критического пути.

Неизрасходованный ресурс исполнителей – 0 чел.

Израсходованный ресурс  $x = 3$ . Расчет представлен на рис. 1.28.

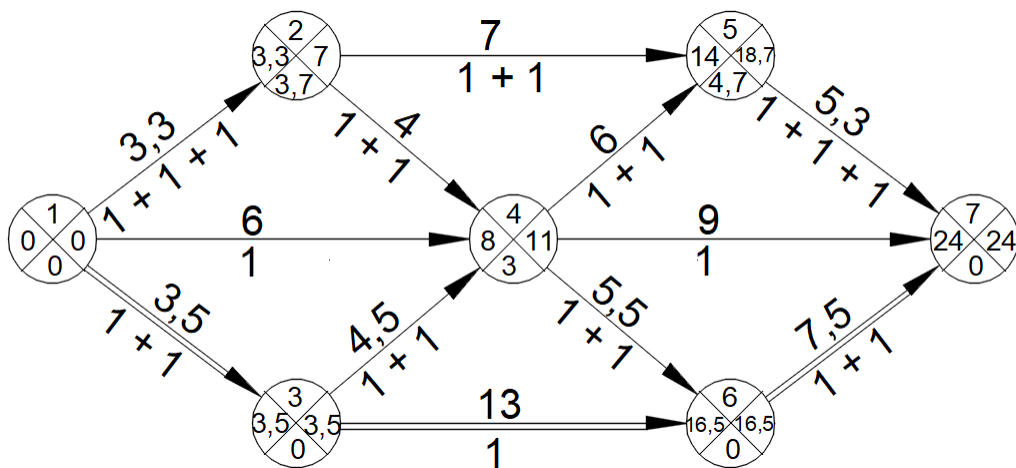


Рисунок 1.28 – Определение критического пути и его длительности при  $x = 3$

Оптимизация сетевого графика позволила сократить срок выполнения задачи с 46 дней до 24 дней и определить работы, на которых должно быть расставлено дополнительное число исполнителей.

### 1.5.2. Оптимизация времени выполнения проекта с ограниченным ресурсом исполнителей и перераспределением работ с имеющимся резервом времени

Необходимо оптимизировать сетевой график по времени выполнения при ограниченном ресурсе исполнителей 10 человек. Для простоты принять один вид исполнителей – конструкторы.

Над стрелками (работами) дана продолжительность работы, а под стрелками – количество исполнителей.

Сетевая модель с рассчитанным критическим путем и продолжительностью работ приведена на рис. 1.29.

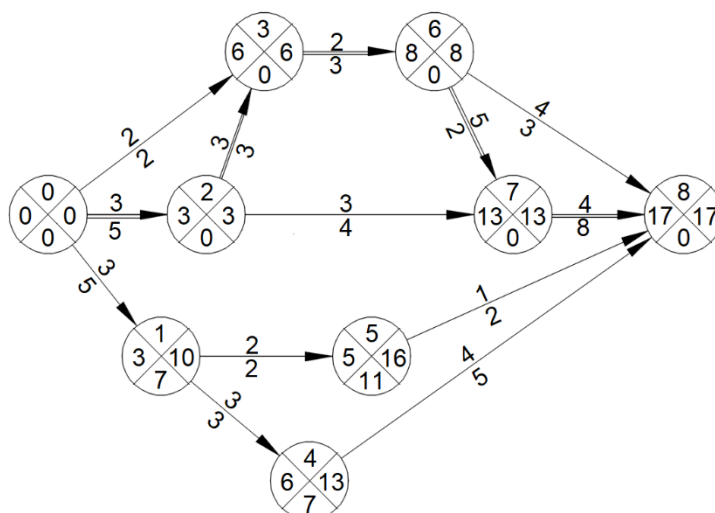


Рисунок 1.29 – Исходная сетевая модель с рассчитанным критическим путем и продолжительностью работ

Представим на графике работы (рис. 1.30) в соответствии с длительностями их выполнения. Работы, лежащие на критическом пути, сдвигать нельзя. Максимальное количество исполнителей, необходимое для выполнения данного проекта – 12 человек, показано на эпюре (рис. 1.30).

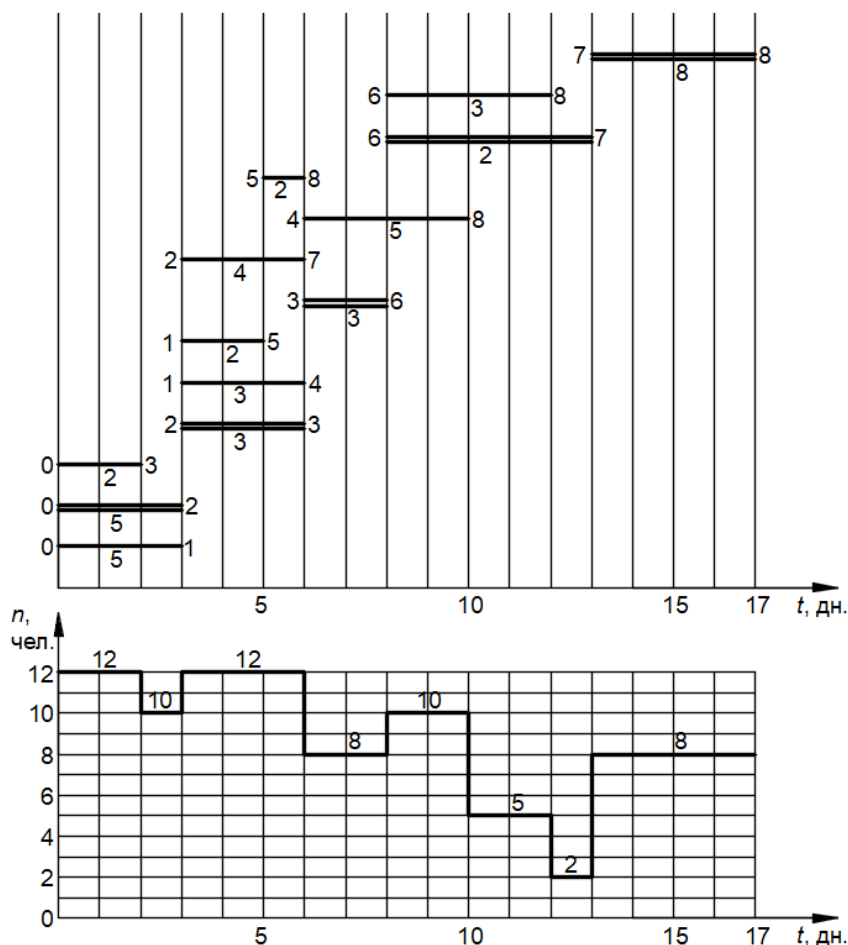


Рисунок 1.30 – График работ линейчатый и эпюра ежедневных ресурсов

На рис. 1.31 показана эпюра ежедневных ресурсов (количество исполнителей), на которой количество исполнителей не превышает предельной численности. Пересмотр работ, их передвижение по календарному времени (за исключением тех работ, которые находятся на критическом пути) позволяет выполнить плановые задания коллектива в срок при ограниченном их ресурсе.



## 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ВО ВРЕМЕНИ

Рассмотрим структуру производственного цикла, из которой видно, что внутренние резервы лежат в производственном процессе (рис. 2.1).

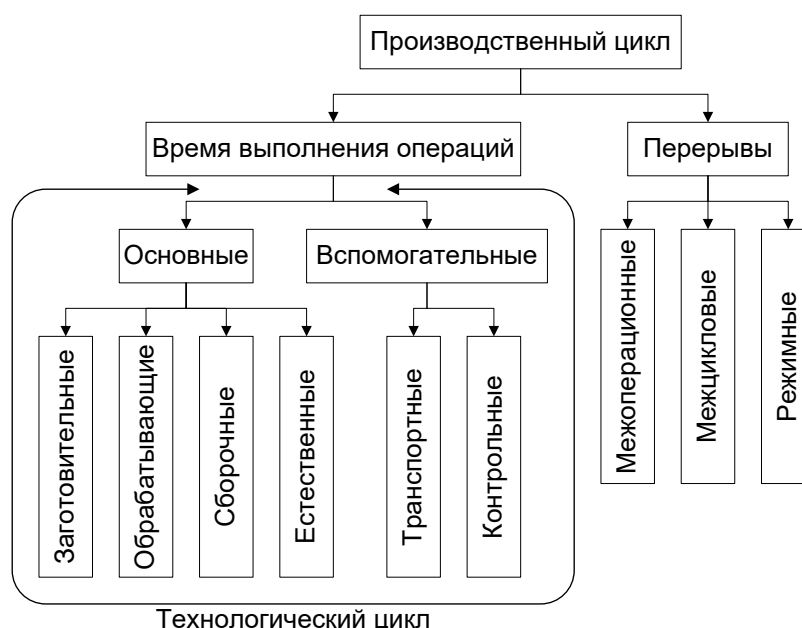


Рисунок 2.1 – Структура производственного процесса

При массовом производстве детали перевозят *передаточными партиями* (в корзинах) с одного рабочего места на другое. Время между операциями – это межоперационное время. Необходимо стремиться к минимизации межоперационного времени.

Передача деталей – процесс производства во времени, который может протекать по трём видам:

- последовательный;
- параллельно-последовательный;
- параллельный.

### Пример 1. Расчет производственного цикла простого процесса

Размер партии деталей  $n = 12$  шт. Размер передаточной партии  $p = 6$  шт. Технологический процесс обработки задан в табл. 2.1. Среднее межоперационное время  $t_{mo} = 2$  мин. представляет собой обязательный контроль после каждой операции. Длительность естественных процессов  $t_e = 35$  мин. Необходимо определить длительность технологического и производственного цикла механообработки партии деталей при последовательном и параллельном движении, построить циклограммы обработки и определить коэффициент параллельности.

Таблица 2.1 – Технологический процесс механообработки

| Показатели                   | Операция 7 | Операция 2 | Операция 3 |
|------------------------------|------------|------------|------------|
| Норма времени $t$ , мин.     | 4          | 1,5        | 6          |
| Количество станков $q$ , ед. | 1          | 1          | 2          |

*Решение:*

1. Рассчитаем длительность цикла при последовательном движении партии деталей. Длительность технологического цикла определяется по формуле:

$$T_{\text{ТА}} = n \sum_{i=1}^I \frac{t_i}{q_i};$$
$$T_{\text{ТА}} = 12 \left( \frac{4}{1} + \frac{1,5}{1} + \frac{6}{2} \right) = 102 \text{ мин.}$$

Длительность производственного цикла вычисляется следующим образом:

$$T_{\text{ПА}} = n \sum_{i=1}^I \frac{t_i}{q_i} + I \cdot t_{\text{МО}} + t_e;$$
$$T_{\text{ПА}} = 12 \left( \frac{4}{1} + \frac{1,5}{1} + \frac{6}{2} \right) + 3 \cdot 2 + 35 = 143 \text{ мин.}$$

2. Рассчитаем длительность цикла при параллельном движении партии деталей. Длительность технологического цикла определяется по формуле:

$$T_{\text{ТВ}} = (n - p) \left( \frac{t_i^{\text{max}}}{q_i^{\text{max}}} \right) + p \sum_{i=1}^I \frac{t_i}{q_i};$$

где  $(n - p) \left( \frac{t_i^{\text{max}}}{q_i^{\text{max}}} \right)$  – операционный цикл максимальной продолжительности (в данном технологическом процессе). Подставляя данные в формулу, получим:

$$T_{\text{ТВ}} = \frac{4}{1} (12 - 6) + \left( \frac{4}{1} + \frac{1,5}{1} + \frac{6}{2} \right) \cdot 6 = 75 \text{ мин.}$$

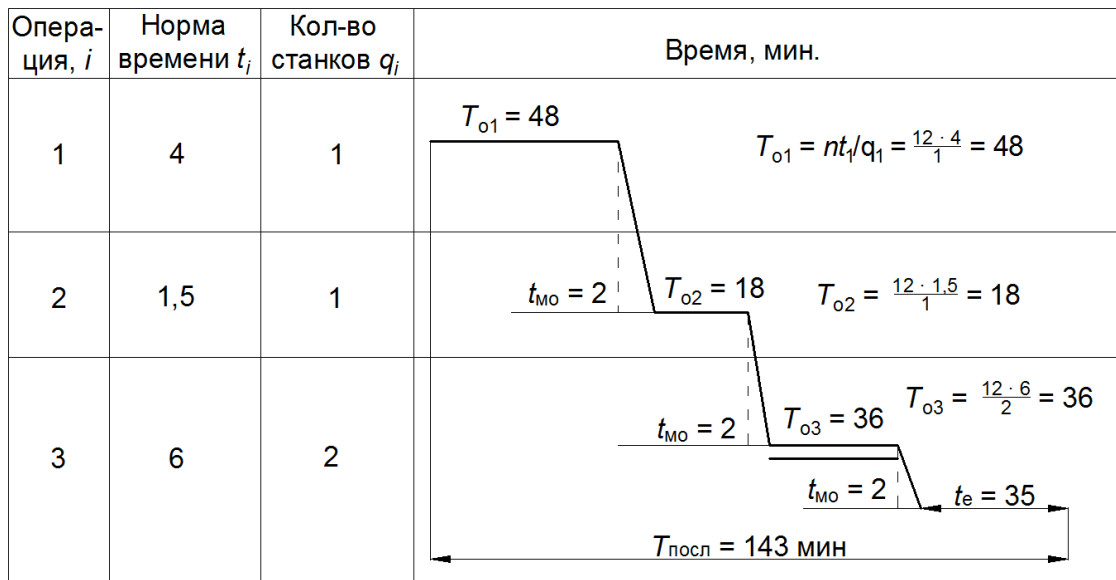
Длительность производственного цикла вычисляется следующим образом:

$$T_{\text{ПВ}} = (n - p) \left( \frac{t_i^{\text{max}}}{q_i^{\text{max}}} \right) + p \sum_{i=1}^I \frac{t_i}{q_i} + I \cdot t_{\text{МО}} + t_e;$$
$$T_{\text{ПВ}} = \frac{4}{1} (12 - 6) + \left( \frac{4}{1} + \frac{1,5}{1} + \frac{6}{2} \right) \cdot 6 + 3 \cdot 2 + 35 = 116 \text{ мин.}$$

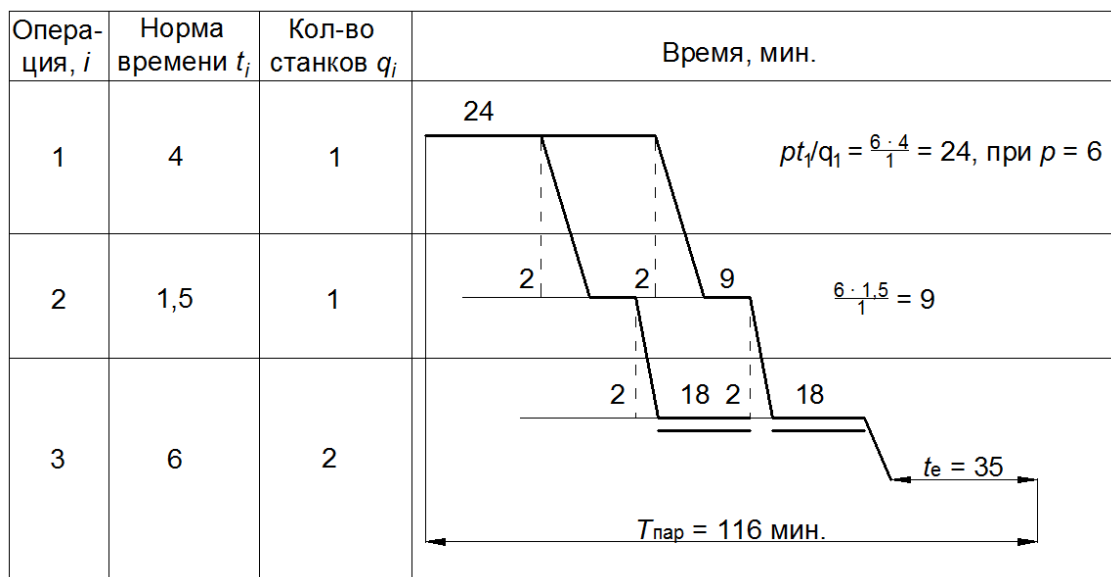
3. Рассчитаем коэффициент параллельности  $K_{\text{П}}$ . Здесь используется формула:

$$K_{\text{П}} = \frac{T_{\text{пар}}}{T_{\text{посл}}};$$
$$K_{\text{П}} = \frac{116}{143} = 0,81.$$

Рассчитанное значение коэффициента параллельности показывает сокращение длительности цикла при параллельном движении по сравнению с последовательным. Циклограммы обработки партии деталей при последовательном и параллельном видах движения представлены на рис. 2.2.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Циклограмма обработки партии деталей:

а – при последовательном движении; б – при параллельном движении

### Пример 2. Расчет производственного цикла сложного процесса

Ведомость состава изделия представлена на рис. 2.3. Длительность циклов простых процессов сборки задана в табл. 2.2. Дата сдачи готового изделия заказчику – 20 декабря. Очередность подачи деталей на сборку из механических цехов: первая очередь – к началу наиболее ранней из операций узловой сборки, цикл механообработки – 12 дней; вторая очередь – к началу сборки узла 4, цикл механообработки – 20 дней. Межцеховое пролеживание деталей – 2 дня. Необходимо построить цикловой график сборки, определить длительность цикла сборки изделия и срок опережения запуска.

Таблица 2.2 – Длительность циклов простых процессов сборки

| Процесс сборки        | М  | Б  | В | Д | Е | У <sub>1</sub> | У <sub>2</sub> | У <sub>3</sub> | У <sub>4</sub> |
|-----------------------|----|----|---|---|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Цикл сборки, раб. дн. | 10 | 10 | 2 | 5 | 3 | 2              | 12             | 5              | 2              |

*Решение:*

1. Для построения циклового графика сборки изделия сначала отобразим длительность цикла сборочных процессов на циклограмме (или цикловом графике) сборки. В принятом масштабе справа налево откладывается длительность производственного цикла простых процессов в соответствии со схемой сборки, как показано на рис. 6.8. Длительность цикла сборки изделия определяется из циклограммы:  $T_{сб} = 37$  дней.

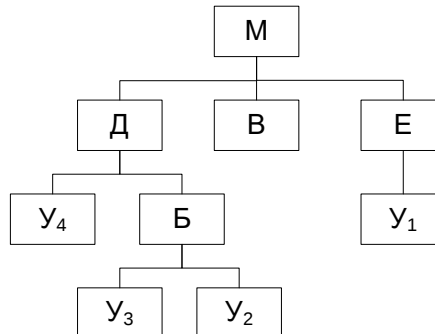


Рисунок 2.3 – Схема сборки изделия

Затем отображается длительность цикла механообработки на циклограмме (рис. 2.4). В соответствии с заданной очередностью подачи деталей на сборку в принятом масштабе справа налево откладывается длительность циклов межцехового пролеживания и механообработки деталей. Производственный цикл изготовления изделия (механообработки и сборки) определяется из циклограммы:  $T_{изд} = 51$  день.

2. Календарная привязка циклового графика осуществляется наложением циклового графика на календарную сетку того же масштаба. Зная календарный срок (дату) окончания всех работ над изделием – 20 декабря и длительность производственного цикла изделия  $T_{изд} = 51$  день, можно определить календарный срок (дату) начала работ над изделием (срок опережения запуска) – 8 октября (рис. 2.4).

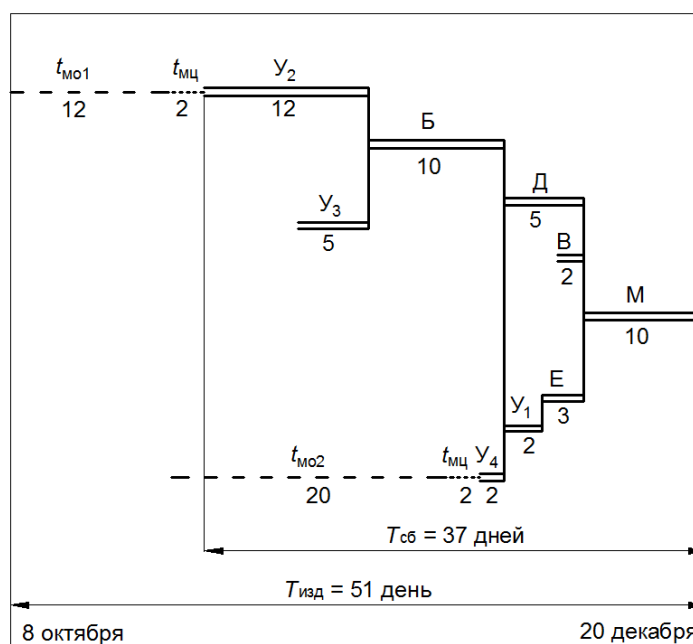


Рисунок 2.4 – Цикловой график сборки изделия

## Типовая задача №1

1. Построить графики технологических циклов производственного процесса при последовательном, параллельно-последовательном и параллельном движении партии деталей.
2. Проверить правильность построения аналитическим методом.
3. Определить длительность цикла.

### Исходные данные

$n$  – количество деталей в партии,  $n = 800$  шт.;

$p$  – размер передаточной партии,  $p = 200$  шт.

Норма времени и количество рабочих мест приведена в таблице:

| Номер операции                            | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
|-------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Норма времени на операцию, $t_{um}$ , мин | 3,0 | 6,8 | 2,0 | 3,6 | 8,0 | 1,8 | 1,1 |
| Количество рабочих мест, $C$              | 1   | 2   | 1   | 1   | 2   | 1   | 1   |

$t_{mn}$  – среднее межоперационное время на операцию,  $t_{mn} = 60$  мин.

Работы проводятся в 2 смены.

$t_{есм}$  – время естественных операций,  $t_{есм} = 0$ .

$t_{см}$  – длительность смены,  $t_{см} = 8$  ч.

### 1. Последовательный вид движения

При последовательном виде движения вся изготавливаемая партия передаётся на последующую операцию после того, как будут выполнены работы на данной операции в отношении всей изготавливаемой партии (рис. 2.5).

Проверка аналитическим расчётом:

$$T_{yn} = n \sum_{i=1}^m t_i / C_i, \text{ мин.}$$

$$T_{yn} = 800 \cdot (3,0/1 + 6,8/2 + 2,0/1 + 3,6/1 + 8,0/2 + 1,8/1 + 1,1/1) = 15120 \text{ мин.}$$

Последовательный вид движения применяется в мелкосерийном и единичном производстве.

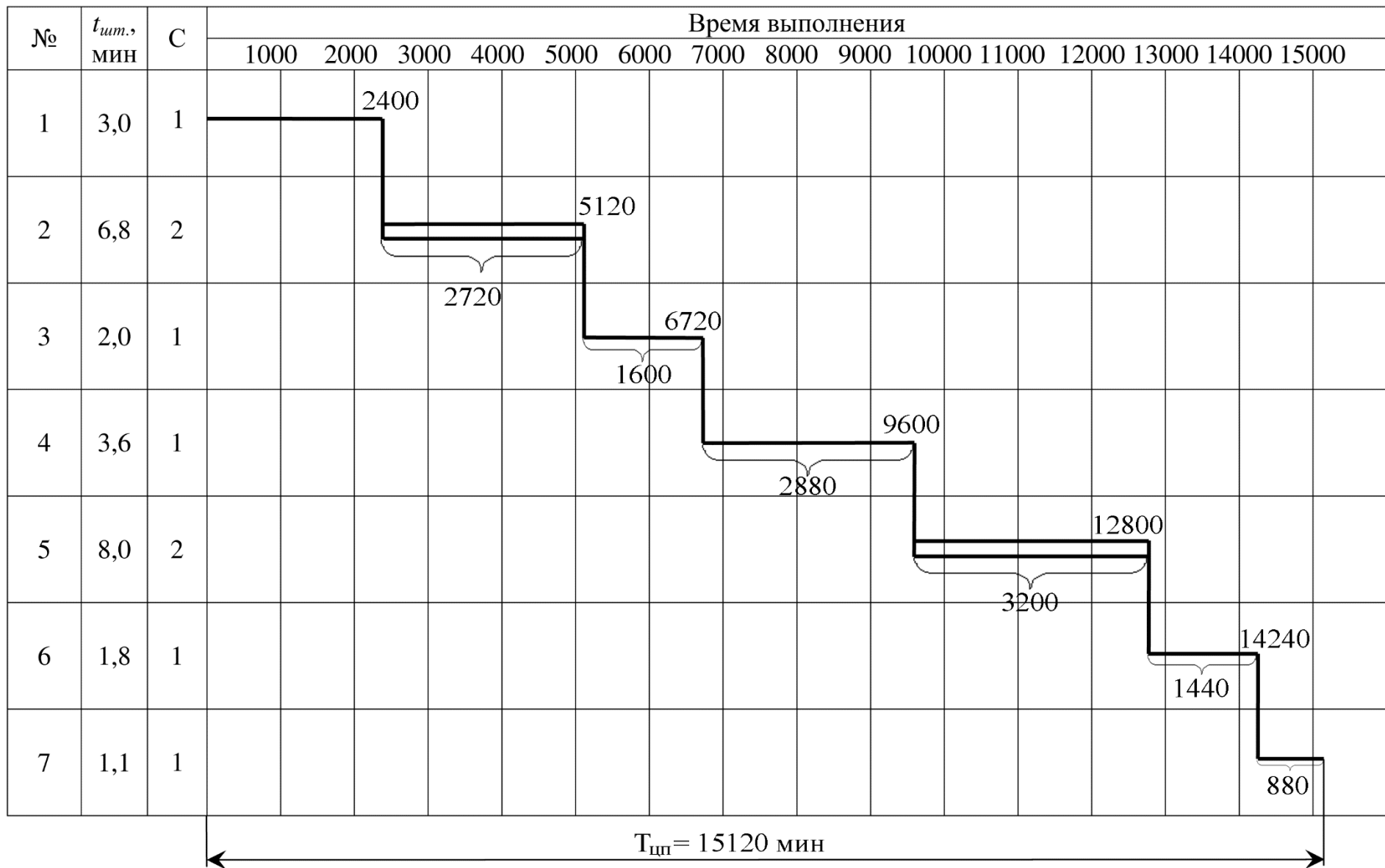


Рисунок 2.5 – Последовательный вид движения

## 2. Параллельно-последовательный вид движения

При параллельно-последовательном виде движения вся изготавливаемая партия делится на передаточные партии (транспортные пачки). Изделия, входящие в передаточную партию передаются на следующую операцию сразу по окончании выполнения работ в отношении изделий, входящих в эту партию.

Последующая операция начинается с таким расчётом, чтобы она выполнялась непрерывно в отношении всей изготавливаемой партии (рис. 2.6).

Проверка аналитическим расчётом:

$$T_{\text{цпн}} = T_{\text{цп}} - (n - p)(t_{\text{шт}}/C)_{\text{кор}} = n \sum_{i=1}^m t_{\text{шт}}/C - (n - p)(t_{\text{шт}}/C)_{\text{кор}}$$
$$T_{\text{цпн}} = 15120 - (800 - 200)(3,0/1 + 2/1 + 2/1 + 3,6/1 + 1,8/1 + 1,1/1) =$$
$$= 15120 - 600 \cdot 13,5 = 15120 - 8100 = 7020 \text{ мин},$$

где  $(t_{\text{шт}}/C)_{\text{кор}}$  – индекс, соответствующий операции с более коротким циклом. Следовательно, это соотношение имеет место для каждой пары смежных операционных циклов.

Параллельно-последовательный вид имеет более короткий цикл, но приводит к увеличению числа учётно-плановых единиц, к более высокому плану работы транспортных средств. Его целесообразно применять при больших партиях и большой трудоёмкости изготовления изделий, что свойственно крупносерийному производству.

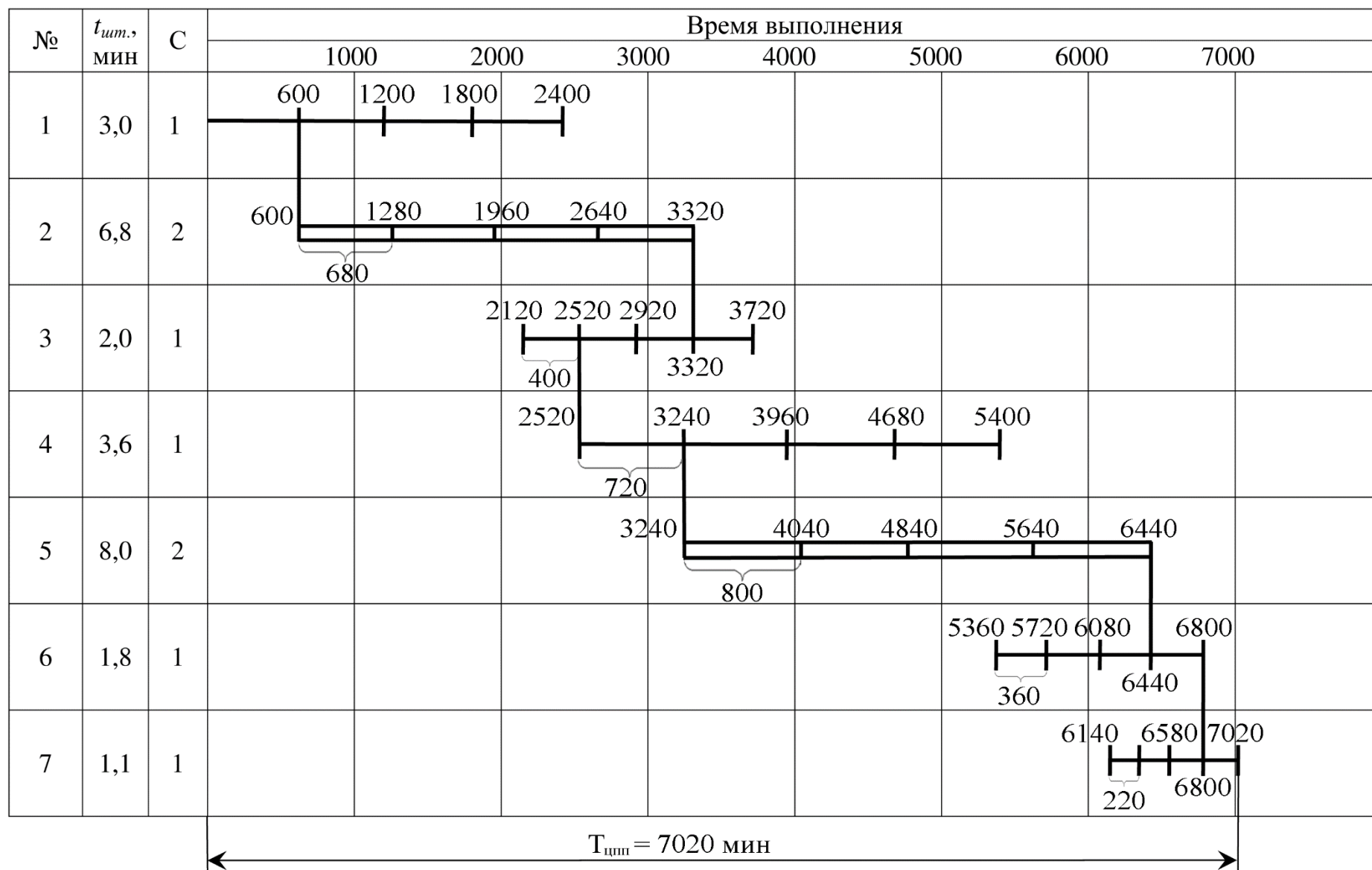


Рисунок 2.6 – Параллельно-последовательный вид движения

### 3. Параллельный вид движения

При параллельном виде движения детали передаются передаточными партиями, причём последующая операция выполняется сразу же по мере поступления этих передаточных партий (рис. 2.7).

При построении:

1) строится график сначала первой передаточной партии  $p = 200$  шт. до пятой операции (самой длинной:  $t = 8$  мин);

2) далее по пятой операции строится график по всей передаточной партии  $p = 200$  шт. до 5600 мин. и вниз по четвёртой передаточной партии;

3) далее в 5600 мин. строится по четвёртой передаточной партии навёрх, потом по третьей, второй и первой передаточной партии.

Проверка аналитическим расчётом:

$$T_{цпар} = n \sum_{i=1}^m t_{ум} / C + (n - p) \cdot (t_{он} / C)_{\text{дл}}, \text{ мин}$$

$$T_{цпар} = 200 \cdot (3/1 + 6,8/2 + 2/1 + 3,6/1 + 8/2 + 1,8/1 + 1,1/1) + (800 - 200) \cdot 8/2 = 6180 \text{ мин},$$

где  $(t_{он} / C)_{\text{дл}}$  – среднее время выполнения наибольшей по длительности операции цикла.

При параллельном виде движения происходит простой оборудования.

### 4. Расчёт длительности цикла в календарных днях

$$T_{ц} = \frac{t_{он.ц} + t_n \cdot m}{t_{см} \cdot z_{см} \cdot k_p} + 1/24 t_{есм},$$

где  $t_{см}$  – длительность смены,  $t_{см} = 8$  ч;

$z_{см}$  – количество смен,  $z_{см} = 2$ ;

$k_p$  – коэффициент, учитывающий количество рабочих дней в году,

$$k_p = \frac{n_p}{n_k} = \frac{258}{365} = 0,71.$$

$t_{он.ц}$  – операционное время цикла (из графика),  $t_{он.ц} = 15120$  мин.;

$t_n$  – среднее межоперационное время,  $t_n = 60$  мин.;

$m$  – количество операций,  $m = 7$ ;

$t_{есм}$  – время естественных перерывов,  $t_{есм} = 0$ .

$$T_{ц} = \frac{15120 + 60 \cdot 7}{8 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 0,71} = 22,3 \text{ дня}.$$

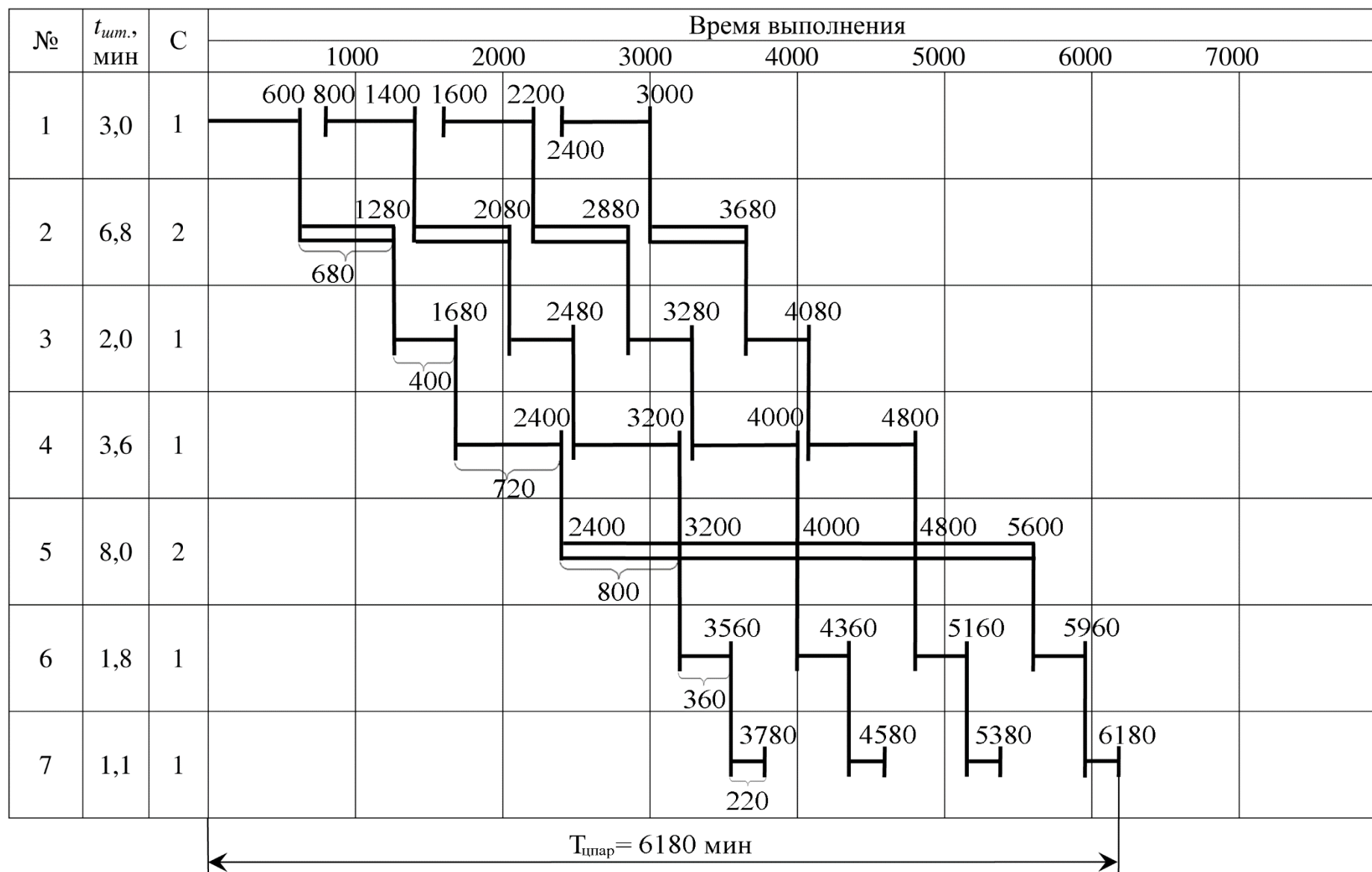


Рисунок 2.7 – Параллельный вид движения

### Исходные данные к типовой задаче №1

| №<br>П/П | n, шт. | p, шт. | Норма времени на операцию $t_{um}$ , мин. / количество рабочих мест C |        |        |        |        |        |        |
|----------|--------|--------|-----------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          |        |        | 1                                                                     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      |
| 1        | 500    | 100    | 8,0/2                                                                 | 3,0/1  | 1,8/1  | 9,2/2  | 2,4/1  | 4,1/1  | 5,0/1  |
| 2        | 400    | 100    | 3,2/1                                                                 | 9,4/2  | 4,0/1  | 1,5/1  | 14,4/2 | 2,8/1  | 3,6/1  |
| 3        | 600    | 150    | 4,8/1                                                                 | 2,2/1  | 10,4/2 | 1,8/1  | 3,0/1  | 6,8/2  | 4,2/1  |
| 4        | 750    | 150    | 2,6/1                                                                 | 3,5/1  | 3,3/1  | 12,4/2 | 4,9/1  | 2,0/1  | 8,8/2  |
| 5        | 800    | 200    | 7,6/2                                                                 | 4,5/1  | 5,2/1  | 2,5/1  | 9,8/2  | 1,9/1  | 3,4/1  |
| 6        | 900    | 180    | 3,6/1                                                                 | 7,2/2  | 2,3/1  | 3,0/1  | 4,5/1  | 12,2/2 | 4,2/1  |
| 7        | 1000   | 200    | 1,7/1                                                                 | 3,9/1  | 12,6/2 | 2,7/1  | 5,3/1  | 4,4/1  | 8,6/2  |
| 8        | 1000   | 250    | 7,8/2                                                                 | 4,2/1  | 6,0/1  | 10,8/2 | 3,5/1  | 2,2/1  | 3,0/1  |
| 9        | 400    | 80     | 4,4/1                                                                 | 7,0/2  | 3,0/1  | 2,5/1  | 10,6/2 | 1,6/1  | 2,9/1  |
| 10       | 1400   | 280    | 3,2/1                                                                 | 5,1/1  | 11,2/2 | 3,3/1  | 4,2/1  | 8,4/2  | 3,3/1  |
| 11       | 1200   | 300    | 3,6/1                                                                 | 2,2/1  | 1,8/1  | 8,2/2  | 4,2/1  | 2,8/1  | 11,4/2 |
| 12       | 1200   | 240    | 9,0/2                                                                 | 2,6/1  | 4,2/1  | 4,8/1  | 10,2/2 | 3,4/1  | 1,8/1  |
| 13       | 1400   | 350    | 2,4/1                                                                 | 9,6/2  | 3,6/1  | 3,0/1  | 2,2/1  | 11,0/2 | 4,1/1  |
| 14       | 1100   | 275    | 4,0/1                                                                 | 3,8/1  | 12,0/2 | 2,3/1  | 1,5/1  | 5,2/1  | 14,6/2 |
| 15       | 1100   | 220    | 14,8/2                                                                | 4,4/1  | 2,6/1  | 10,0/2 | 3,8/1  | 2,4/1  | 3,0/1  |
| 16       | 1300   | 325    | 3,6/1                                                                 | 6,6/2  | 2,0/1  | 4,3/1  | 10,4/2 | 3,7/1  | 2,9/1  |
| 17       | 1300   | 260    | 5,2/1                                                                 | 3,6/1  | 9,2/2  | 3,0/1  | 2,2/1  | 8,6/2  | 4,3/1  |
| 18       | 1500   | 300    | 3,8/1                                                                 | 2,5/1  | 4,2/1  | 11,6/2 | 3,1/1  | 1,8/1  | 9,4/2  |
| 19       | 1500   | 375    | 10,0/2                                                                | 4,6/1  | 2,4/1  | 3,3/1  | 8,8/2  | 3,9/1  | 4,2/1  |
| 20       | 1600   | 400    | 4,5/1                                                                 | 12,4/2 | 3,8/1  | 2,6/1  | 3,7/1  | 9,2/8  | 3,5/1  |
| 21       | 1600   | 320    | 2,0/1                                                                 | 3,3/1  | 8,6/2  | 4,8/1  | 3,8/1  | 2,9/1  | 10,8/2 |
| 22       | 1700   | 340    | 11,6/2                                                                | 5,0/1  | 4,1/1  | 7,8/2  | 3,5/1  | 2,5/1  | 3,8/1  |
| 23       | 1700   | 425    | 3,3/1                                                                 | 8,4/2  | 2,1/1  | 5,2/1  | 13,2/2 | 3,8/1  | 1,8/1  |
| 24       | 1800   | 450    | 4,1/1                                                                 | 3,7/1  | 13,4/2 | 4,7/1  | 2,9/1  | 7,6/2  | 3,0/1  |
| 25       | 1800   | 360    | 1,9/1                                                                 | 2,7/1  | 3,5/1  | 8,2/2  | 2,2/1  | 3,0/1  | 13,6/2 |
| 26       | 1900   | 380    | 13,0/2                                                                | 4,0/1  | 4,5/1  | 3,2/1  | 8,0/2  | 3,5/1  | 2,2/1  |
| 27       | 1900   | 475    | 2,8/1                                                                 | 10,2/2 | 5,0/1  | 4,1/1  | 3,2/1  | 13,2/2 | 1,9/1  |
| 28       | 2000   | 400    | 4,2/1                                                                 | 2,0/1  | 7,8/2  | 3,8/1  | 2,7/1  | 5,2/1  | 12,4/2 |
| 29       | 2000   | 500    | 12,2/2                                                                | 3,0/1  | 2,6/1  | 9,6/2  | 2,0/1  | 1,8/1  | 3,8/1  |
| 30       | 500    | 125    | 3,7/1                                                                 | 9,8/2  | 4,2/1  | 4,8/1  | 14,0/2 | 2,6/1  | 2,2/1  |

$t_{mn}$  – среднее межоперационное время на операцию,  $t_{mn} = 60$  мин.

Работы проводятся в 2 смены.

$t_{ест}$  – время естественных операций,  $t_{ест} = 0$ .

$t_{см}$  – длительность смены,  $t_{см} = 8$  ч.;

Количество рабочих дней в году  $n_p = 258$ .

### 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА В ПРОСТРАНСТВЕ

Задача определения оптимальной планировки оборудования решается методом перебора возможных вариантов планировок и выбора того, который в наибольшей мере отвечает условиям оптимальности. Например, минимальный грузооборот  $Q$ :

$$Q = \sum_{i=1}^u N_i \cdot q_i \cdot l_i \rightarrow \min,$$

где  $N_i$  – программное значение по  $u$ -му изделию, шт.;

$q_i$  – масса изделия, кг;

$l_i$  – расстояние между станками, м.

#### Типовая задача №2

На участке, за которым закреплена обработка шести деталей (А, Б, В, Г, Д, Е), выполняются три операции – токарная (Т), фрезерная (Ф) и сверлильная (С). Детали имеют одинаковый состав операций, но разные маршруты обработки. Найти оптимальную планировку оборудования.

#### Исходные данные к типовой задаче №2

1. Месячная программа выпуска деталей дана в табл. 3.1.
2. Масса и маршруты обработки деталей приведены в табл. 3.2.
3. Среднее расстояние транспортирования детали между станками  $l_i = 3$  м.

Таблица 3.1 – Месячная программа выпуска деталей  $N_i$ , шт.

| Деталь | Вариант |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |
|--------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
|        | 1       | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10 | 11  | 12  | 13  |
| А      | 100     | 90  | 80  | 100 | 105 | 50  | 45  | 110 | 150 | 45 | 80  | 200 | 115 |
| Б      | 120     | 100 | 100 | 90  | 95  | 100 | 120 | 100 | 140 | 60 | 100 | 150 | 125 |
| В      | 130     | 120 | 120 | 80  | 125 | 150 | 70  | 120 | 130 | 55 | 120 | 100 | 105 |
| Г      | 140     | 110 | 140 | 70  | 115 | 100 | 130 | 130 | 120 | 70 | 140 | 50  | 145 |
| Д      | 150     | 130 | 160 | 60  | 145 | 110 | 115 | 140 | 110 | 65 | 160 | 100 | 150 |
| Е      | 160     | 140 | 180 | 50  | 55  | 115 | 60  | 150 | 100 | 80 | 180 | 150 | 110 |
| Деталь | Вариант |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |
|        | 14      | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23 | 24  | 25  | 26  |
| А      | 40      | 90  | 135 | 140 | 120 | 50  | 35  | 115 | 95  | 60 | 80  | 150 | 120 |
| Б      | 50      | 80  | 100 | 140 | 135 | 55  | 40  | 120 | 110 | 50 | 95  | 100 | 90  |
| В      | 60      | 70  | 95  | 150 | 150 | 45  | 45  | 110 | 125 | 70 | 110 | 120 | 130 |
| Г      | 70      | 60  | 115 | 160 | 165 | 60  | 50  | 90  | 140 | 85 | 125 | 140 | 115 |
| Д      | 80      | 50  | 110 | 110 | 180 | 75  | 55  | 85  | 150 | 45 | 140 | 160 | 140 |
| Е      | 90      | 40  | 100 | 115 | 195 | 80  | 60  | 100 | 100 | 30 | 90  | 95  | 100 |

Таблица 3.2 – Масса и маршруты обработки деталей

| Деталь | Масса, кг | Порядковые номера операций |           |             |
|--------|-----------|----------------------------|-----------|-------------|
|        |           | токарной                   | фрезерной | сверлильной |
| А      | 0,2       | 2                          | 3         | 1           |
| Б      | 0,1       | 2                          | 1         | 3           |
| В      | 0,3       | 1                          | 3         | 2           |
| Г      | 0,3       | 1                          | 2         | 3           |
| Д      | 0,5       | 3                          | 1         | 2           |
| Е      | 0,4       | 3                          | 2         | 1           |

### Порядок выполнения задачи

1. Принимаем любой вариант (случайный) последовательности расположения станков на участке, например: токарный – Т (1), фрезерный – Ф (2), сверлильный – С (3). Строим матрицу связи между всеми станками участка в виде шахматной ведомости перемещения грузов при исходной планировке и масс. Шахматная ведомость строится в виде табл. 3.3, в каждой клетке которой указывается величина груза, передаваемого с питающего рабочего места на потребляющее.

Таблица 3.3 – Шахматная ведомость перемещения грузов

| Питающие рабочие места | Потребляющие рабочие места |   |   |
|------------------------|----------------------------|---|---|
|                        | Т                          | Ф | С |
| Т                      |                            |   |   |
| Ф                      |                            |   |   |
| С                      |                            |   |   |

2. Преобразовываем шахматную ведомость в матрицу масс, которая также оформляется в виде табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Матрица масс

|   | Т | Ф | С |
|---|---|---|---|
| Т |   |   |   |
| Ф |   |   |   |
| С |   |   |   |

3. На основе исходной планировки и расстояния между станками (3 м) строится матрица расстояний, которая также оформляется в виде табл. 3.4.

4. Перемножением каждого значения клетки матрицы масс на соответствующие значение клеток матрицы расстояний получается величина грузопотока между станками для исходной планировки. Суммарный грузооборот участка – это сумма полученных значений грузопотоков.

5. По условию задачи возможны шесть различных вариантов расположения станков. Аналогично составляются матрицы масс и расстояний и рассчитывается грузооборот по всем шести вариантам планировки оборудования
6. Выбирается оптимальная планировка по наименьшему грузообороту.

### Пример решения задачи

Пусть на участке, за которым закреплена обработка четырех деталей (А, Б, В, Г), выполняются три операции – токарная (Т), фрезерная (Ф) и сверлильная (С). Детали имеют одинаковый состав операций, но разные маршруты обработке. Среднее расстояние транспортирования детали между станками – 3 м. Месячная программа выпуска деталей, масса и маршрут обработки каждой детали приведен в табл. 3.5. Найти оптимальную планировку оборудования.

Таблица 3.5 – Масса и маршруты обработки деталей

| Деталь | Программа выпуска в месяц | Масса, кг |           | Порядковые номера операций |           |             |
|--------|---------------------------|-----------|-----------|----------------------------|-----------|-------------|
|        |                           | единицы   | программы | токарной                   | фрезерной | сверлильной |
| А      | 100                       | 0,2       | 20        | 2                          | 3         | 1           |
| Б      | 120                       | 0,1       | 12        | 2                          | 1         | 3           |
| В      | 130                       | 0,3       | 39        | 1                          | 3         | 2           |
| Г      | 140                       | 0,3       | 42        | 1                          | 2         | 3           |

1. Принимаем любой вариант (случайный) последовательности расположения станков на участке, например: токарный – Т (1), фрезерный – Ф (2), сверлильный С (3). Строим шахматную ведомость перемещения грузов при исходной планировке и масс (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Шахматная ведомость перемещения грузов

| Питающие рабочие места | Потребляющие рабочие места |                |                     |
|------------------------|----------------------------|----------------|---------------------|
|                        | Т                          | Ф              | С                   |
| Т                      | 0                          | 20             | $12 + 32 + 39 = 93$ |
| Ф                      | 12                         | 9              | 0                   |
| С                      | 20                         | $39 + 42 = 81$ | 0                   |

2. Преобразовываем шахматную ведомость в матрицу масс, которая также оформляется в виде табл. 3.7

Таблица 3.7 – Матрица масс

|   | Т | Ф  | С   |
|---|---|----|-----|
| Т | 0 | 32 | 113 |
| Ф | 0 | 0  | 81  |
| С | 0 | 0  | 0   |

3. На основании исходной планировки и расстояния между станками (3 м) строим матрицу расстояний (табл. 3.8)

Таблица 3.8 – Матрица расстояний

|   | Т | Ф | С |
|---|---|---|---|
| Т | 0 | 3 | 6 |
| Ф | 3 | 0 | 3 |
| С | 6 | 3 | 0 |

4. Перемножив цифру в клетке масс на цифру соответствующей клетки матрицы расстояний, получим величину грузооборота  $Q$  между станками исходной планировки. Суммарный грузооборот равен:

$$Q_1 = (32 \cdot 3) + (113 \cdot 6) + (81 \cdot 3) = 1071 \text{ кг/м.}$$

5. По условию задачи возможны шесть различных вариантов расположения станков:

- 1) токарный – фрезерный – сверлильный;
- 2) токарный – сверлильный – фрезерный;
- 3) фрезерный – токарный – сверлильный;
- 4) фрезерный – сверлильный – токарный;
- 5) сверлильный – токарный – фрезерный;
- 6) сверлильный – фрезерный – токарный.

Аналогично составляются матрицы масс и расстояний и рассчитывается грузооборот по оставшимся вариантам планировки оборудования.

Для данного примера:

$$Q_1 = 1071 \text{ кг/м; } Q_2 = 774 \text{ кг/м; } Q_3 = 921 \text{ кг/м;}$$

$$Q_4 = 774 \text{ кг/м; } Q_5 = 1071 \text{ кг/м; } Q_6 = 921 \text{ кг/м.}$$

### Вывод.

Наименьший грузооборот (774 кг/м) имеет место при втором и четвертом вариантах расстановки оборудования на участке, т.е. токарный – сверлильный – фрезерный, или в обратной последовательности.

#### 4. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ТИПА ПРОИЗВОДСТВА

Предприятие рассматривается как динамичная система, то есть совокупность подсистем, взаимодействие которых определяет жизнеспособность системы. Производственная система – это особый класс систем, включающий работников, орудия и предметы труда и другие элементы, необходимые для функционирования системы, в процессе чего создаются продукция или услуги.

Схематически производственная система представлена на рис. 4.1.

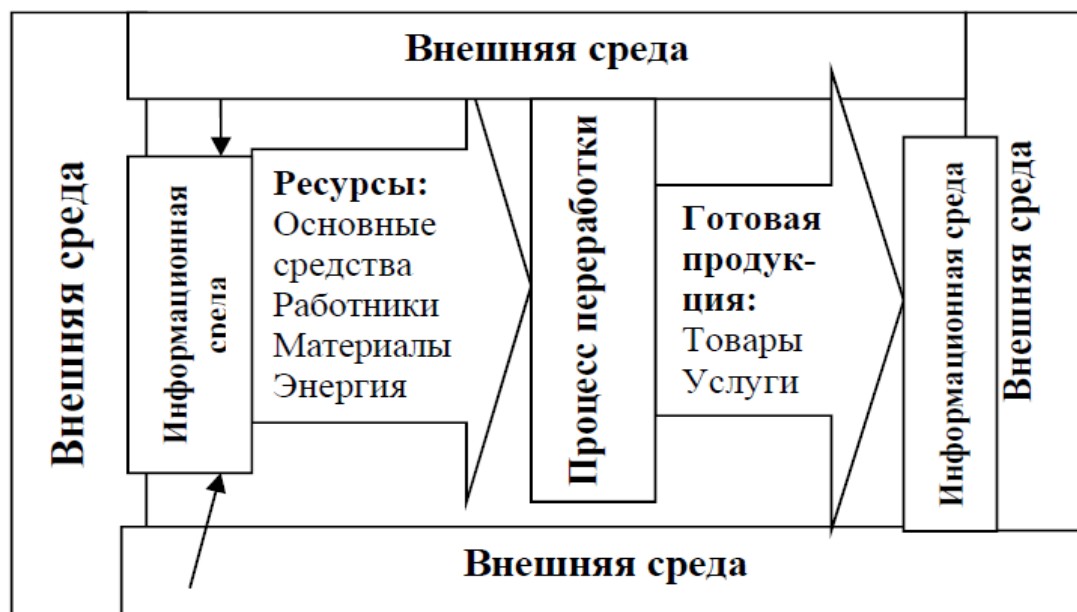


Рисунок 4.1 – Производственная система предприятия

Предприятия как производственная система различных отраслей промышленности имеют свои специфические особенности, вытекающие из характера производства, применяемой техники и технологии, квалификации кадров. В то же время все они имеют общие признаки, позволяющие их классифицировать.

Определять тип производства следует с планирования основных параметров предприятия как производственной системы. В зависимости от того, какие потери времени учитываются фондом времени, различают:

– календарный фонд  $\Phi_k$  – располагаемое рабочее время в течение года:

$$\Phi_k = 365 t_{cm} K_{cm}, \quad (4.1)$$

где  $t_{cm}$  – длительность смены, ч;

$K_{cm}$  – количество смен работы оборудования;

– номинальный фонд  $\Phi_n$  – определяется вычитанием из полного календарного фонда времени за год нерабочих (выходных и праздничных) дней и часов:

$$\Phi_H = (D \cdot t_{cm} - D_{пр} \cdot t_{сок}) \cdot K_{cm}, \quad (4.2)$$

где  $D$  – количество рабочих дней в году;

$D_{пр}$  – количество сокращенных рабочих дней перед праздниками в году;

$t_{сок}$  – сокращение рабочего времени перед праздниками, ч;

– действительный фонд  $\Phi_d$  – номинальный фонд времени за вычетом неизбежных потерь:

$$\Phi_d = \Phi_H (1 - (\alpha_{пр} + \alpha_{наст})), \quad (4.3)$$

где  $\alpha_{пр}$  – коэффициент, учитывающий потери рабочего времени, связанные с проведением планового ремонта и всех видов обслуживания,  $\alpha_{пр} = 0,03 \dots 0,07$ ;

$\alpha_{наст}$  – коэффициент, учитывающий потери времени на настройку и подналадку оборудования во время рабочих смен,  $\alpha_{наст} = 0,05 \dots 0,1$ .

Зная действительный фонд работы оборудования, можно рассчитать потребное количество оборудования на участке ( $S_y$ ):

$$S_y = \frac{N \cdot t_{шт}}{60 \Phi_d \cdot K_{вн}}, \quad (4.4)$$

где  $N$  – программа выпуска, шт.;

$t_{шт}$  – штучная норма времени, мин;

$K_{вн}$  – коэффициент выполнения норм времени,  $K_{вн} = 1 \dots 1,25$ .

Расчетное количество оборудования, как правило, получается дробным. Поэтому по каждой операции устанавливается принятое число оборудования ( $S_{пр}$ ) путем округления расчетного количества до целого числа в большую сторону.

Одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций ( $K_{зо}$ ), который представляет собой отношение числа всех технологических операций к числу рабочих мест при выполнении соответствующего технологического процесса изготовления продукции:

$$K_{зо} = \frac{O}{P}, \quad (4.5)$$

где  $O$  – количество операций при производстве изделия;

$P$  – количество рабочих мест, задействованных в производстве.

Тип производства по коэффициенту закрепления определяется на основании данных, приведенных в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Значение коэффициента закрепления операций для различных типов производства

| Тип производства | Значение коэффициента закрепления операций |
|------------------|--------------------------------------------|
| Массовое         | $\leq 1$                                   |
| Крупносерийное   | 2...10                                     |
| Среднесерийное   | 11...20                                    |
| Мелкосерийное    | 21...40                                    |
| Единичное        | $> 40$                                     |

О типе производства можно судить и по коэффициенту загрузки одного рабочего места деталью одного наименования  $K_{зр}$ :

$$K_{зр} = \frac{N \cdot t_{шт}}{60 \Phi_n \cdot S_{пр}}, \quad (4.6)$$

где  $\Phi_n$  – номинальный фонд времени работы оборудования (4140 ч для двухсменного режима работы оборудования), ч.

Значения коэффициентов загрузки рабочих мест приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Значения коэффициента загрузки рабочих мест для различных типов производства

| Тип производства | Значения коэффициента загрузки рабочих мест |
|------------------|---------------------------------------------|
| Массовое         | 0,42...0,85                                 |
| Крупносерийное   | 0,09...0,42                                 |
| Среднесерийное   | 0,04...0,09                                 |
| Мелкосерийное    | 0,02...0,04                                 |
| Единичное        | $< 0,02$                                    |

Тип производства выбирается на основании полученных коэффициентов по большинству операций. В табл. 4.3 представлены данные по сравнительной характеристике различных типов производства.

Таблица 4.3 – Сравнительная характеристика различных типов производства

| Сравниваемые признаки        | Тип производства                                               |                                                        |                                                                          |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                              | Единичное                                                      | Серийное                                               | Массовое                                                                 |
| Номенклатура и объем выпуска | Неограниченная номенклатура деталей, изготавливаемых по заказу | Широкая номенклатура изделий, изготавливаемых партиями | Ограниченная номенклатура изделий, изготавливаемых в больших количествах |
| Повторяемость выпуска        | Отсутствует                                                    | Периодический                                          | Постоянный                                                               |
| Применяемость оборудования   | Универсальное                                                  | Частично специальное                                   | В основном специальное                                                   |

| Сравниваемые признаки                           | Тип производства              |                                         |                                                     |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                                 | Единичное                     | Серийное                                | Массовое                                            |
| Закрепление операции за станками                | Отсутствует                   | Ограниченное количество детали-операций | Одна, две операции на станок                        |
| Расположение оборудования                       | По группам однородных станков | По группам для обработки                | По ходу технологического процесса обработки деталей |
| Передача предметов труда с операции на операцию | Последовательное              | Параллельно-последовательное            | Параллельное                                        |
| Форма организации производственного процесса    | Технологическая               | Предметная                              | Прямолинейная                                       |

### Типовая задача №3

Производственное предприятие в определенном году выпускает определенное количество втулок для восполнения потребностей завода-партнера согласно технологическому процессу, станкоемкость операций которого представлена в табл. 4.4. Необходимо рассчитать основные параметры технологического процесса и на их основе определить тип производства.

Таблица 4.4 – Станкоемкость операций технологического процесса

| Наименование операции | Станкоемкость операции, мин. |                         |                                                |                                              |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                       | Штучное время $t_{шт}$       | Машинное время $t_{мш}$ | Вспомогательное неперекрываемое время $t_{вн}$ | Вспомогательное перекрываемое время $t_{вп}$ |
| Токарная              |                              |                         |                                                |                                              |
| Фрезерная             |                              |                         |                                                |                                              |
| Шлифовальная          |                              |                         |                                                |                                              |
| Сверлильная           |                              |                         |                                                |                                              |

Штучное время определяется по формуле:

$$t_{шт} = t_p - t_{мш} - t_{вн} - t_{вп},$$

где  $t_p$  – станкоемкость операции, мин.;

$t_{мш}$  – машинное время, мин. (31% от станкоемкости);

$t_{вн}$  – вспомогательное неперекрываемое время, мин. (9% от станкоемкости);

$t_{вп}$  – вспомогательное перекрываемое время, мин. (5% от станкоемкости).

Для определения рабочих дней в году рекомендуется воспользоваться календарем. Первоначально необходимо определить календарный фонд времени по формуле (4.1), исходя из того, что длительность смены составляет восемь часов, а количество смен равно двум.

Далее с учетом потерь времени, приходящихся на выходные и праздники, необходимо определить номинальный фонд времени по формуле (4.2). При этом следует учесть, что количество рабочих и сокращенных дней определяется по календарю выбранного года.

Затем по формуле (4.3) необходимо определить действительный фонд времени работы оборудования с учетом потерь рабочего времени, связанных с проведением планового ремонта и наладкой оборудования, которые составили 3 и 5 % соответственно.

Далее необходимо определить расчетное  $S_y$  и принятое количество оборудования  $S$  для каждой из операций по формуле (4.4). Затем необходимо рассчитать коэффициент закрепления операции по формуле (4.5), число рабочих мест, задействованных в производстве принять равным принятому количеству оборудования на производственном участке.

Значения данных коэффициентов необходимо сверить с данными табл. 4.1 и 4.2 и выбрать наиболее рациональный тип производства. Информацию необходимо свести в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Определение типа производства

| Наименование операции | Норма штучного времени $t_{шт}$ | Коэффициент закрепления операций $K_{зо}$ | Коэффициент загрузки рабочих мест $K_{зр}$ | Тип производства |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------|
| Токарная              |                                 |                                           |                                            |                  |
| Фрезерная             |                                 |                                           |                                            |                  |
| Шлифовальная          |                                 |                                           |                                            |                  |
| Сверлильная           |                                 |                                           |                                            |                  |

### Исходные данные к типовой задаче №3

| Номер варианта | Годовая программа выпуска, шт. | Наименование операции | Станкочасов, мин. |
|----------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1              | 120 000                        | Токарная              | 2,9               |
|                |                                | Токарная              | 0,44              |
|                |                                | Шлифовальная          | 3,4               |
|                |                                | Сверлильная           | 0,6               |
| 2              | 80 000                         | Токарная              | 0,9               |
|                |                                | Фрезерная             | 1,4               |
|                |                                | Фрезерная             | 3,4               |
|                |                                | Сверлильная           | 1,5               |
| 3              | 70 000                         | Токарная              | 2,4               |
|                |                                | Фрезерная             | 0,9               |
|                |                                | Шлифовальная          | 2,8               |
|                |                                | Шлифовальная          | 1,2               |
| 4              | 140 000                        | Токарная              | 0,8               |
|                |                                | Фрезерная             | 3,1               |
|                |                                | Шлифовальная          | 0,3               |
|                |                                | Токарная              | 0,8               |

| Номер<br>варианта | Годовая программа<br>выпуска, шт. | Наименование<br>операции | Станкоемкость,<br>мин. |
|-------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|
| 5                 | 170 000                           | Токарная                 | 2,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,3                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 1,2                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 3,2                    |
| 6                 | 90 000                            | Токарная                 | 0,6                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,7                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 3,6                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,9                    |
| 7                 | 85 000                            | Токарная                 | 3,6                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 4,2                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 0,7                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,4                    |
| 8                 | 125 000                           | Токарная                 | 3,5                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 3,2                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,3                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 1,9                    |
| 9                 | 115 000                           | Токарная                 | 2,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 4,9                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 2,9                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 4,8                    |
| 10                | 135 000                           | Фрезерная                | 5,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,6                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 1,2                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,5                    |
| 11                | 250 000                           | Токарная                 | 5,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,9                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 1,2                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 4,8                    |
| 12                | 120 000                           | Токарная                 | 4,5                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 3,2                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,6                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 1,9                    |
| 13                | 80 000                            | Токарная                 | 5,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 4,9                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 2,9                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 3,8                    |
| 14                | 70 000                            | Фрезерная                | 5,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,6                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 1,2                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,5                    |
| 15                | 140 000                           | Токарная                 | 4,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,8                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 1,2                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 4,4                    |
| 16                | 170 000                           | Токарная                 | 3,5                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 3,3                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,6                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 1,9                    |

| Номер<br>варианта | Годовая программа<br>выпуска, шт. | Наименование<br>операции | Станкоемкость,<br>мин. |
|-------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|
| 17                | 90 000                            | Токарная                 | 4,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 4,9                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 2,9                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 1,8                    |
| 18                | 85 000                            | Фрезерная                | 5,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,6                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 1,2                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,9                    |
| 19                | 125 000                           | Токарная                 | 4,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,8                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 1,2                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 4,8                    |
| 20                | 115 000                           | Токарная                 | 3,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,8                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 1,2                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 4,8                    |
| 21                | 135 000                           | Токарная                 | 3,5                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 3,2                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,9                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 1,9                    |
| 22                | 250 000                           | Токарная                 | 5,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 4,9                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 2,9                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 1,8                    |
| 23                | 120 000                           | Фрезерная                | 3,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,9                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 1,2                    |
|                   |                                   | Сверлильная              | 0,8                    |
| 24                | 80 000                            | Токарная                 | 3,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,8                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 1,2                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 4,8                    |
| 25                | 150 000                           | Токарная                 | 3,4                    |
|                   |                                   | Фрезерная                | 0,8                    |
|                   |                                   | Шлифовальная             | 1,2                    |
|                   |                                   | Токарная                 | 4,8                    |

## 5. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ РАБОТНИКОВ

Численность рабочих основного производства можно рассчитывать двумя способами: по числу рабочих мест и трудоемкости работ. На поточных линиях применяется первый метод. Если станочник работает на одном станке, занятость рабочего в смену будет соответствовать загрузке рабочих мест.

Численность работающих рассчитывается с учетом следующих факторов: технологической трудоемкости единицы продукции; соотношения численности различных категорий работающих; использования производственной мощности на протяжении расчетного периода в соответствии с графиком производства работ по проекту.

Явочная численность производственных рабочих по операциям изготовления деталей рассчитывается по формуле:

$$P_{явi} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot t_{штиi}}{60 \cdot \Phi_{ном} \cdot K_{внi} \cdot K_{мнi}}, \quad (5.1)$$

где  $N_i$  – количество  $i$ -х изделий, выпускаемых за год, шт.;

$t_{штиi}$  – норма времени на изготовление  $i$ -го изделия, мин.;

$\Phi_{ном}$  – номинальный годовой фонд времени работы одного рабочего, ч;

$K_{внi}$  – средний коэффициент выполнения норм выработки на операции изготовления детали,  $K_{внi} = 1 \dots 1,2$ ;

$K_{мнi}$  – средний коэффициент многостаночного обслуживания на операции изготовления детали  $K_{мнi} = 1 \dots 1,25$ .

Списочная численность работников рассчитывается по формуле:

$$P_{списi} = P_{явi} \left( 1 + \frac{ПП}{100 - ПП} \right), \quad (5.2)$$

где ПП – планируемые потери рабочего времени, %.

Принятое количество работников определяется округлением до ближайшего большего целого рассчитанного количества рабочих.

Численность вспомогательного производства можно рассчитать на основе трудоемкости работ и норм обслуживания. Количество вспомогательных рабочих определяется отношением трудоемкости работ (или количества установленного оборудования) к норме обслуживания (табл. 5.1):

$$P_{всп} = \frac{U_i \cdot K_{см}}{H_{оби}}, \quad (5.3)$$

где  $U_i$  – количество единиц обслуживания по  $i$ -й профессии;

$K_{см}$  – количество смен работы;

$H_{оби}$  – норма обслуживания по  $i$ -й профессии.

Таблица 5.1 – Нормы обслуживания на одного рабочего в смену

| Профессия                                                                                 | Разряд | Единица обслуживания        | Норма обслуживания |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------|--------------------|
| Наладчик оборудования по типам станков:                                                   |        |                             |                    |
| токарные, сверлильные, плоско-шлифовальные, суперфинишные, доводочные                     | 4      | Станок                      | 16                 |
| агрегатные, фрезерные, резьбообрабатывающие, зубодолбежные, круглошлифовальные, протяжные | 5      | Станок                      | 12                 |
| Станочник по ремонту оборудования                                                         | 3      | Единица ремонтной сложности | 1500               |
| Слесарь по межремонтному обслуживанию                                                     | 3      | То же                       | 500                |
| Электромонтер по межремонтному обслуживанию                                               | 3      | То же                       | 1000               |
| Смазчик                                                                                   | 3      | То же                       | 1000               |
| Контролер-приемщик                                                                        | 3      | Рабочий                     | 40                 |
| Кладовщик-раздатчик инструмента и приспособлений                                          | 2      | Рабочий                     | 50                 |
| Рабочий по доставке инструментов и приспособлений на рабочем месте                        | 2      | Станочник                   | 50                 |
| Стропальщик и крановщик                                                                   | 3      | Станочник                   | 50                 |
| Уборщик производственных помещений                                                        | 2      | м <sup>2</sup>              | 1500               |

Количество станочников по ремонту оборудования определяется из соотношения трудоемкости ремонтных работ и нормы обслуживания:

$$P_{\text{рем}} = \frac{K_{\text{рем}} \cdot K_{\text{см}}}{H_{\text{оби}}}, \quad (5.4)$$

где  $K_{\text{рем}}$  – категория ремонтной сложности оборудования.

Категория ремонтной сложности оборудования, установленного на участке рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{рем}} = \sum n_{\text{оби}} \cdot K_{\text{реми}}. \quad (5.5)$$

Количество служащих определяется укрупнено в процентах в зависимости от общей численности основных и вспомогательных рабочих по поточной линии (17...25 %).

## Типовая задача №4

Определить количество работников по наименованиям выполняемых работ и заполнить итоговую таблицу численности работников по категориям выполняемых работ.

Порядок расчётов следующий.

1. Определяется необходимое количество основных рабочих:

- необходимо указать количество смен работы оборудования ( $K_{см} = 2$ ), номинальный фонд рабочего времени  $\Phi_n$  (типовая задача №3, ф. (4.2)), коэффициенты выполнения норм и многостаночного обслуживания, норму штучного времени (табл. 4.4) и программу выпуска (типовая задача №3) в соответствии с вариантом;
- определить явочную численность работников по формуле (5.1);
- установить планируемые потери рабочего времени ( $ПП = 10...15\%$ );
- определить списочную численность работников по формуле (5.2).

Расчетные данные сводятся в табл. 5.2 и 5.3.

Таблица 5.2 – Расчет численности основных рабочих

| Параметр                                 | Операция |   |   |   | Всего |
|------------------------------------------|----------|---|---|---|-------|
|                                          | 1        | 2 | 3 | 4 |       |
| Штучное время, мин.                      |          |   |   |   |       |
| Коэффициент многостаночного обслуживания |          |   |   |   |       |
| Коэффициент выполнения норм              |          |   |   |   |       |
| Явочная численность, чел.                |          |   |   |   |       |
| Списочная численность, чел.              |          |   |   |   |       |
| Принятая явочная численность, чел.       |          |   |   |   |       |
| Принятая списочная численность, чел.     |          |   |   |   |       |

Таблица 5.3 – Расчетные данные о численности основных рабочих

|                                                   |  |
|---------------------------------------------------|--|
| Количество смен $K_{см}$                          |  |
| Номинальный фонд рабочего времени $\Phi_n$ , мин. |  |
| Программа выпуска, шт.                            |  |
| Планируемые потери рабочего времени $ПП$ , %      |  |
| Явочная численность рабочих, чел. (всего)         |  |
| Списочная численность рабочих, чел. (всего)       |  |

2. Определяется численность наладчиков по операциям технологического процесса. Рекомендуется воспользоваться формулой (5.3). Расчетные данные сводятся в табл. 5.4. Норма обслуживания устанавливается согласно табл. 5.1. Количество единиц соответствующего оборудования определяется по формуле:

$$N_i = \frac{t_{мш} + t_{вн}}{t_{вн} + t_{вп}}$$

Машинное время  $t_{мш}$ , вспомогательное неперекрываемое время  $t_{вн}$ , вспомогательное перекрываемое время  $t_{вп}$  принимаются из табл. 4.4. Если расчет-

ное количество станков получилось дробным, нормативное количество получаем путем округления в меньшую сторону.

Таблица 5.4 – Определение численности наладчиков

| № п/п | Операция     | Количество единиц оборудования, шт. | Норма обслуживания | Численность работников-наладчиков, чел. |
|-------|--------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| 1     | Токарная     |                                     |                    |                                         |
| 2     | Фрезерная    |                                     |                    |                                         |
| 3     | Шлифовальная |                                     |                    |                                         |
| 4     | Сверлильная  |                                     |                    |                                         |

3. Определяется количество вспомогательных рабочих по различным категориям работ. Рекомендуются использовать формулы (5.3), (5.4) и (5.5). Первоначально по формуле (5.5) необходимо рассчитать общую категорию ремонтной сложности оборудования. Категория ремонтной сложности единицы оборудования указана в табл. 5.5. Данные сводятся в табл. 5.6.

Таблица 5.5 – Данные о категории ремонтной сложности станков

| Операция     | Наименование станка         | Категория ремонтной сложности, ед. | Площадь станка, м <sup>2</sup> |
|--------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Токарная     | Токарно-винторезный 16K20   | 8                                  | 12,4                           |
| Фрезерная    | Фрезерный 692Р              | 23                                 | 2,7                            |
| Шлифовальная | Круглошлифовальный 3А130    | 20                                 | 6,4                            |
| Сверлильная  | Сверлильный с ЧПУ 2Р135Ф2-1 | 62                                 | 12,9                           |

Таблица 5.6 – Определение общей ремонтной сложности оборудования

| № п/п | Операция     | Категория ремонтной сложности одного станка, ед. | Количество станков на операции, шт. | Категория ремонтной сложности всего оборудования, ед. |
|-------|--------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1     | Токарная     |                                                  |                                     |                                                       |
| 2     | Фрезерная    |                                                  |                                     |                                                       |
| 3     | Шлифовальная |                                                  |                                     |                                                       |
| 4     | Сверлильная  |                                                  |                                     |                                                       |
| Итого |              |                                                  |                                     |                                                       |

4. Определяется количество работников, обслуживающих станки, по формуле (5.4). Расчетные данные сводятся в табл. 5.7 и 5.8.

Таблица 5.7 – Определение численности станочников по ремонту оборудования

| Наименование работы                         | Норма обслуживания | Необходимое количество работников, чел. |
|---------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| Станочник по ремонту оборудования           |                    |                                         |
| Слесарь по межремонтному обслуживанию       |                    |                                         |
| Электромонтер по межремонтному обслуживанию |                    |                                         |
| Смазчик                                     |                    |                                         |
| Уборщики                                    |                    |                                         |

Норма обслуживания для отдельных категорий работ указана в табл. 5.1.

Таблица 5.8 – Определение численности прочих вспомогательных рабочих

| Наименование работ              | Категория ремонтной сложности, ед. | Норма обслуживания | Необходимое количество работников |
|---------------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Контролер-приемщик              |                                    |                    |                                   |
| Кладовщик-раздатчик             |                                    |                    |                                   |
| Рабочий по доставке инструмента |                                    |                    |                                   |
| Стропальщик и крановщик         |                                    |                    |                                   |

5. Определяется количество служащих (17...25 % от общей численности основных и вспомогательных рабочих).

6. Заполняется итоговая таблица численности работников по категориям выполняемых работ (табл. 5.9). Списочная численность вспомогательных рабочих и служащих рассчитывается по формуле (5.2).

Таблица 5.9 – Итоговая таблица численности работников по категориям выполняемых работ

| №<br>п/п                                    | Профессия                                         | Разряд | Норма<br>обслуживания | Фактическое<br>число обслу-<br>живаемых<br>единиц | Численность |           |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------|-----------------------|---------------------------------------------------|-------------|-----------|
|                                             |                                                   |        |                       |                                                   | явочная     | списочная |
| Основные рабочие                            |                                                   |        |                       |                                                   |             |           |
| 1                                           | Токарь                                            |        | -                     |                                                   |             |           |
| 2                                           | Фрезеровщик                                       |        | -                     |                                                   |             |           |
| 3                                           | Шлифовщик                                         |        | -                     |                                                   |             |           |
| 4                                           | Сверлильщик                                       |        |                       |                                                   |             |           |
| Итого                                       |                                                   |        |                       |                                                   |             |           |
| Вспомогательные рабочие                     |                                                   |        |                       |                                                   |             |           |
| Наладчики станков                           |                                                   |        |                       |                                                   |             |           |
| 5                                           | Токарных                                          |        |                       |                                                   |             |           |
| 6                                           | Фрезерных                                         |        |                       |                                                   |             |           |
| 7                                           | Шлифовальных                                      |        |                       |                                                   |             |           |
| 8                                           | Сверлильных                                       |        |                       |                                                   |             |           |
| Остальные категории вспомогательных рабочих |                                                   |        |                       |                                                   |             |           |
| 9                                           | Станочник по ре-<br>монту оборудова-<br>ния       |        |                       |                                                   |             |           |
| 10                                          | Слесарь по межре-<br>монтному обслу-<br>живанию   |        |                       |                                                   |             |           |
| 11                                          | Электромонтер по<br>межремонтному<br>обслуживанию |        |                       |                                                   |             |           |
| 12                                          | Смазчик                                           |        |                       |                                                   |             |           |
| 13                                          | Уборщики                                          |        |                       |                                                   |             |           |
| 14                                          | Контролер- при-<br>емщик                          |        |                       |                                                   |             |           |
| 15                                          | Кладовщик-<br>раздатчик                           |        |                       |                                                   |             |           |
| 16                                          | Рабочий по достав-<br>ке инструмента              |        |                       |                                                   |             |           |
| 17                                          | Стропальщик и<br>крановщик                        |        |                       |                                                   |             |           |
| Итого                                       |                                                   |        |                       |                                                   |             |           |
| 18                                          | Служащие                                          |        |                       |                                                   |             |           |
| Итого                                       |                                                   |        |                       |                                                   |             |           |

## 6. РАЗРАБОТКА ФОТОГРАФИИ РАБОЧЕГО ДНЯ И БАЛАНСА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ

Во время фотографии рабочего дня ведется наблюдение за работой механизмов и рабочих, обслуживающих их, делаются соответствующие записи в наблюдательном листе.

По окончании наблюдения полученные данные обрабатывают. Для анализа затраты времени группируют по категориям рабочего времени. Так, в одну группу собирают все затраты оперативного времени, в другую – все затраты подготовительно-заключительного времени, в третью – время перерывов, зависящих от рабочего, и т. д. Для облегчения обработки результатов наблюдения используют условные обозначения – индексы. Типовые элементы затрат рабочего времени и их индексация показаны в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Типовые элементы затрат рабочего времени

| Затраты рабочего времени                           | Индекс | Затраты рабочего времени                                | Индекс |
|----------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------|--------|
| Подготовительно-заключительное время               | ПЗ     | Ознакомление с работой и чертежами                      | ПЗ-1   |
|                                                    |        | Получение инструктажа                                   | ПЗ-2   |
|                                                    |        | Получение и сдача инструмента                           | ПЗ-3   |
|                                                    |        | Получение материала, заготовок                          | ПЗ-4   |
|                                                    |        | Установка и снятие инструмента, заготовок               | ПЗ-5   |
|                                                    |        | Установка режима обработки                              | ПЗ-6   |
|                                                    |        | Сдача работы                                            | ПЗ-7   |
|                                                    |        | Наладка оборудования                                    | ПЗ-8   |
| Оперативное время                                  | ОП     | -                                                       | ОП     |
| Основное время                                     | О      | Машинная работа                                         | О-1    |
|                                                    |        | Машинно-ручная                                          | О-2    |
|                                                    |        | Ручная работа                                           | О-3    |
| Вспомогательное время                              | В      | Ручная неперекрываемая работа                           | В-1    |
|                                                    |        | Ручная перекрываемая                                    | В-2    |
|                                                    |        | Механизированная работа                                 | В-3    |
| Время обслуживания рабочего места                  | ОМ     | -                                                       | ОМ     |
| Время организационного обслуживания рабочего места | ОМО    | Раскладка и уборка инструмента в начале и в конце смены | ОМО-1  |
|                                                    |        | Осмотр и опробование станка                             | ОМО-2  |
|                                                    |        | Чистка, обтирка и смазка оборудования                   | ОМО-3  |
|                                                    |        | Передача смены                                          | ОМО-4  |
| Время технического обслуживания рабочего места     | ОМТ    | Смена инструмента вследствие затупления                 | ОМТ-1  |
|                                                    |        | Подналадка станка                                       | ОМТ-2  |
|                                                    |        | Сметание стружки                                        | ОМТ-3  |
| Время перерывов на отдых и личные надобности       | ЛН     | Отдых                                                   | ЛН-1   |
|                                                    |        | Личные надобности                                       | ЛН-2   |

| Затраты рабочего времени                            | Индекс | Затраты рабочего времени                                                                                                                                                                                                                                    | Индекс                                                                        |
|-----------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Время потерь по вине рабочего                       | ПР     | Позднее начало работы<br>Преждевременное окончание работы<br>Уход с рабочего места<br>Посторонние разговоры<br>Занятие посторонним делом                                                                                                                    | ПР-1<br>ПР-2<br>ПР-3<br>ПР-4<br>ПР-5                                          |
| Время потерь по организационно-техническим причинам | ПОТ    | Ожидание работы<br>Ожидание чертежа<br>Ожидание материалов, заготовок<br>Ожидание крана, транспорта<br>Ожидание инструмента, приспособления<br>Ожидание наладки станка<br>Ожидание энергии<br>Ожидание ремонта оборудования<br>Ожидание подсобного рабочего | ПОТ-1<br>ПОТ-2<br>ПОТ-3<br>ПОТ-4<br>ПОТ-5<br>ПОТ-6<br>ПОТ-7<br>ПОТ-8<br>ПОТ-9 |
| Время непроизводительной работы                     | НР     | Работа, непредусмотренная заданием<br>Мелкий ремонт самим рабочим<br>Брак, исправление брака                                                                                                                                                                | НР-1<br>НР-2<br>НР-3                                                          |

Подготовительно-заключительное время (ПЗ) – время на подготовку и завершение изготовления производственной партии или серийного задания.

Если размер партии совпадает с размером сменной выработки, получается, что в начале смены рабочий выполняет подготовительно-заключительные работы, хотя подготовка рабочего места к рабочей смене и уборка его в конце рабочей смены считается временем организационного обслуживания. В целях более точного соблюдения нормативов нормировщик должен фиксировать индекс ПЗ.

Время обслуживания рабочего места (ОМ) – время, затрачиваемое на уход за рабочим местом на протяжении всей смены (чаще всего это подготовка к рабочей смене и уборка рабочего места по ее окончании). Включает в себя время технического обслуживания рабочего места (ОМТ), связанное с подготовкой и уборкой основного технологического оборудования, оснастки, инструментов, и время организационного обслуживания рабочего места (ОМО), связанное с подготовкой организационной оснастки, производственной мебели и решением других организационных вопросов.

Время на отдых и личные надобности (ЛН) – время, необходимое для снятия психофизиологической усталости и естественных надобностей. Величина зависит от условий труда и нормируется в пределах 2...15 % от оперативного времени.

Время потерь по организационно-техническим причинам (ПОТ) – время потерь, вызванных чаще всего несинхронностью производственных процессов (например, на поточных линиях при многостаночном обслуживании), особенностями технологического процесса, сбоями в снабжении предметами и средствами труда, ошибками в производственном менеджменте, организации труда и производства или диспетчировании.

Время потерь по вине рабочего (ПР) – время потерь из-за нарушений рабочим технологической или трудовой дисциплины, несоблюдения им требований технологической документации (лишние переходы в операции, применение иных режимов или инструментов и т.д.), выпуска бракованной продукции, опозданий или преждевременных уходов с рабочего места.

### Типовая задача №5

Имеется наблюдательный лист индивидуальной фотографии рабочего дня (табл. 6.2). Следует изучить классификацию категорий затрат рабочего времени, для этого необходимо:

- рассчитать продолжительность каждого элемента затрат рабочего времени;
- провести индексацию всех категорий затрат рабочего времени;
- составить сводку одноименных затрат рабочего времени;
- разработать баланс рабочего времени;
- рассчитать показатели использования рабочего времени и повышения производительности труда.

Для решения задач необходимо придерживаться следующей последовательности расчетов:

1. Определить продолжительность элементов затрат рабочего времени и провести их индексацию по форме, представленной в табл. 6.3.

Таблица 6.3 – Фотография рабочего дня

| Действия рабочего      | Текущее время | Продолжительность, мин. | Индекс |
|------------------------|---------------|-------------------------|--------|
| Начало работы          | $g^{00}$      |                         |        |
| Получение документации | $g^{02}$      | 2                       | ПЗ-1   |

Продолжительность каждой категории затрат времени определяется как разница текущего времени выполнения последующего и предыдущего элемента работы. По первому элементу затрат продолжительность определяется сопоставлением данного элемента затрат с началом работы. Суммарная продолжительность всех затрат должна быть равна продолжительности смены. Индексация всех категорий затрат проводится в соответствии с Типовой индексацией категорий затрат рабочего времени, показанной в табл. 6.1.

2. Составить сводку одноименных затрат рабочего времени, которая заключается в группировке индексов и определении суммарной продолжительности каждой категории затрат времени, показанных в табл. 6.4.

Таблица 6.2 – Наблюдательный лист индивидуальной фотографии рабочего дня

| №<br>п/п                                    | Затраты рабочего времени   | Текущее время по вариантам |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|---------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                             |                            | 1                          | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                | 8                | 9                | 10               | 11               | 12               | 13               | 14               | 15               | 16               | 17               | 18               |
| Начало работы – 8 <sup>00</sup>             |                            |                            |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| 1                                           | Приход на рабочее место    | 8 <sup>00</sup>            | 8 <sup>02</sup>  | 8 <sup>00</sup>  | 8 <sup>01</sup>  | 8 <sup>00</sup>  | 8 <sup>05</sup>  | 8 <sup>00</sup>  | 8 <sup>03</sup>  | 8 <sup>00</sup>  | 8 <sup>00</sup>  | 8 <sup>02</sup>  | 8 <sup>00</sup>  | 8 <sup>01</sup>  | 8 <sup>00</sup>  | 8 <sup>05</sup>  | 8 <sup>00</sup>  | 8 <sup>03</sup>  | 8 <sup>00</sup>  |
| 2                                           | Подготовка рабочего места  | 8 <sup>05</sup>            | 8 <sup>06</sup>  | 8 <sup>07</sup>  | 8 <sup>08</sup>  | 8 <sup>09</sup>  | 8 <sup>10</sup>  | 8 <sup>11</sup>  | 8 <sup>12</sup>  | 8 <sup>13</sup>  | 8 <sup>05</sup>  | 8 <sup>06</sup>  | 8 <sup>07</sup>  | 8 <sup>08</sup>  | 8 <sup>09</sup>  | 8 <sup>10</sup>  | 8 <sup>11</sup>  | 8 <sup>12</sup>  | 8 <sup>13</sup>  |
| 3                                           | Получение деталей          | 8 <sup>09</sup>            | 8 <sup>11</sup>  | 8 <sup>13</sup>  | 8 <sup>15</sup>  | 8 <sup>17</sup>  | 8 <sup>19</sup>  | 8 <sup>21</sup>  | 8 <sup>23</sup>  | 8 <sup>25</sup>  | 8 <sup>09</sup>  | 8 <sup>11</sup>  | 8 <sup>13</sup>  | 8 <sup>15</sup>  | 8 <sup>17</sup>  | 8 <sup>19</sup>  | 8 <sup>21</sup>  | 8 <sup>23</sup>  | 8 <sup>25</sup>  |
| 4                                           | Оперативная работа         | 8 <sup>34</sup>            | 8 <sup>35</sup>  | 8 <sup>36</sup>  | 8 <sup>37</sup>  | 8 <sup>38</sup>  | 8 <sup>39</sup>  | 8 <sup>40</sup>  | 8 <sup>41</sup>  | 8 <sup>42</sup>  | 8 <sup>34</sup>  | 8 <sup>35</sup>  | 8 <sup>36</sup>  | 8 <sup>37</sup>  | 8 <sup>38</sup>  | 8 <sup>39</sup>  | 8 <sup>40</sup>  | 8 <sup>41</sup>  | 8 <sup>42</sup>  |
| 5                                           | Смена инструмента          | 8 <sup>40</sup>            | 8 <sup>42</sup>  | 8 <sup>44</sup>  | 8 <sup>46</sup>  | 8 <sup>48</sup>  | 8 <sup>50</sup>  | 8 <sup>52</sup>  | 8 <sup>54</sup>  | 8 <sup>56</sup>  | 8 <sup>40</sup>  | 8 <sup>42</sup>  | 8 <sup>44</sup>  | 8 <sup>46</sup>  | 8 <sup>48</sup>  | 8 <sup>50</sup>  | 8 <sup>52</sup>  | 8 <sup>54</sup>  | 8 <sup>56</sup>  |
| 6                                           | Оперативная работа         | 9 <sup>05</sup>            | 9 <sup>06</sup>  | 9 <sup>07</sup>  | 9 <sup>08</sup>  | 9 <sup>09</sup>  | 9 <sup>10</sup>  | 9 <sup>11</sup>  | 9 <sup>12</sup>  | 9 <sup>13</sup>  | 9 <sup>05</sup>  | 9 <sup>06</sup>  | 9 <sup>07</sup>  | 9 <sup>08</sup>  | 9 <sup>09</sup>  | 9 <sup>10</sup>  | 9 <sup>11</sup>  | 9 <sup>12</sup>  | 9 <sup>13</sup>  |
| 7                                           | Уход за инструментом       | 9 <sup>12</sup>            | 9 <sup>14</sup>  | 9 <sup>16</sup>  | 9 <sup>18</sup>  | 9 <sup>20</sup>  | 9 <sup>22</sup>  | 9 <sup>24</sup>  | 9 <sup>26</sup>  | 9 <sup>28</sup>  | 9 <sup>12</sup>  | 9 <sup>14</sup>  | 9 <sup>16</sup>  | 9 <sup>18</sup>  | 9 <sup>20</sup>  | 9 <sup>22</sup>  | 9 <sup>24</sup>  | 9 <sup>26</sup>  | 9 <sup>28</sup>  |
| 8                                           | Посторонний разговор       | 9 <sup>15</sup>            | 9 <sup>16</sup>  | 9 <sup>17</sup>  | 9 <sup>19</sup>  | 9 <sup>21</sup>  | 9 <sup>23</sup>  | 9 <sup>25</sup>  | 9 <sup>27</sup>  | 9 <sup>29</sup>  | 9 <sup>15</sup>  | 9 <sup>16</sup>  | 9 <sup>17</sup>  | 9 <sup>19</sup>  | 9 <sup>21</sup>  | 9 <sup>23</sup>  | 9 <sup>25</sup>  | 9 <sup>27</sup>  | 9 <sup>29</sup>  |
| 9                                           | Оперативная работа         | 10 <sup>00</sup>           | 10 <sup>05</sup> | 10 <sup>10</sup> | 10 <sup>15</sup> | 10 <sup>20</sup> | 10 <sup>25</sup> | 10 <sup>30</sup> | 10 <sup>35</sup> | 10 <sup>40</sup> | 10 <sup>00</sup> | 10 <sup>05</sup> | 10 <sup>10</sup> | 10 <sup>15</sup> | 10 <sup>20</sup> | 10 <sup>25</sup> | 10 <sup>30</sup> | 10 <sup>35</sup> | 10 <sup>40</sup> |
| 10                                          | Уход по личным надобностям | 10 <sup>10</sup>           | 10 <sup>15</sup> | 10 <sup>20</sup> | 10 <sup>25</sup> | 10 <sup>30</sup> | 10 <sup>35</sup> | 10 <sup>40</sup> | 10 <sup>45</sup> | 10 <sup>50</sup> | 10 <sup>10</sup> | 10 <sup>15</sup> | 10 <sup>20</sup> | 10 <sup>25</sup> | 10 <sup>30</sup> | 10 <sup>35</sup> | 10 <sup>40</sup> | 10 <sup>45</sup> | 10 <sup>50</sup> |
| 11                                          | Получение деталей, изделий | 10 <sup>13</sup>           | 10 <sup>16</sup> | 10 <sup>22</sup> | 10 <sup>27</sup> | 10 <sup>35</sup> | 10 <sup>38</sup> | 10 <sup>41</sup> | 10 <sup>46</sup> | 10 <sup>55</sup> | 10 <sup>13</sup> | 10 <sup>16</sup> | 10 <sup>22</sup> | 10 <sup>27</sup> | 10 <sup>35</sup> | 10 <sup>38</sup> | 10 <sup>41</sup> | 10 <sup>46</sup> | 10 <sup>55</sup> |
| 12                                          | Оперативная работа         | 11 <sup>28</sup>           | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> | 11 <sup>28</sup> |
| 13                                          | Вызов механика             | 11 <sup>38</sup>           | 11 <sup>40</sup> | 11 <sup>34</sup> | 10 <sup>29</sup> | 10 <sup>43</sup> | 10 <sup>40</sup> | 10 <sup>43</sup> | 10 <sup>48</sup> | 11 <sup>05</sup> | 11 <sup>38</sup> | 11 <sup>40</sup> | 11 <sup>34</sup> | 11 <sup>45</sup> | 11 <sup>43</sup> | 11 <sup>40</sup> | 11 <sup>43</sup> | 11 <sup>48</sup> | 11 <sup>45</sup> |
| 14                                          | Посторонний разговор       | 11 <sup>55</sup>           | 11 <sup>52</sup> | 11 <sup>40</sup> | 10 <sup>30</sup> | 11 <sup>47</sup> | 10 <sup>41</sup> | 10 <sup>44</sup> | 10 <sup>49</sup> | 11 <sup>10</sup> | 11 <sup>55</sup> | 11 <sup>52</sup> | 11 <sup>40</sup> | 11 <sup>56</sup> | 11 <sup>47</sup> | 11 <sup>41</sup> | 11 <sup>44</sup> | 11 <sup>49</sup> | 11 <sup>50</sup> |
| 15                                          | Оперативная работа         | 12 <sup>00</sup>           | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> | 12 <sup>00</sup> |
| Обед с 12 <sup>00</sup> до 13 <sup>00</sup> |                            |                            |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| 16                                          | Приход с обеда             | 13 <sup>01</sup>           | 13 <sup>00</sup> | 13 <sup>03</sup> | 13 <sup>00</sup> | 13 <sup>02</sup> | 13 <sup>00</sup> | 13 <sup>04</sup> | 13 <sup>00</sup> | 13 <sup>05</sup> | 13 <sup>01</sup> | 13 <sup>00</sup> | 13 <sup>03</sup> | 13 <sup>00</sup> | 13 <sup>02</sup> | 13 <sup>00</sup> | 13 <sup>04</sup> | 13 <sup>00</sup> | 13 <sup>05</sup> |
| 17                                          | Получение деталей          | 13 <sup>05</sup>           | 13 <sup>06</sup> | 13 <sup>07</sup> | 13 <sup>08</sup> | 13 <sup>09</sup> | 13 <sup>10</sup> | 13 <sup>11</sup> | 13 <sup>12</sup> | 13 <sup>13</sup> | 13 <sup>05</sup> | 13 <sup>06</sup> | 13 <sup>07</sup> | 13 <sup>08</sup> | 13 <sup>09</sup> | 13 <sup>10</sup> | 13 <sup>11</sup> | 13 <sup>12</sup> | 13 <sup>13</sup> |
| 18                                          | Оперативная работа         | 13 <sup>34</sup>           | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> | 13 <sup>34</sup> |
| 19                                          | Смена инструмента          | 13 <sup>40</sup>           | 13 <sup>42</sup> | 13 <sup>44</sup> | 13 <sup>46</sup> | 13 <sup>48</sup> | 13 <sup>50</sup> | 13 <sup>52</sup> | 13 <sup>54</sup> | 13 <sup>56</sup> | 13 <sup>40</sup> | 13 <sup>42</sup> | 13 <sup>44</sup> | 13 <sup>46</sup> | 13 <sup>48</sup> | 13 <sup>50</sup> | 13 <sup>52</sup> | 13 <sup>54</sup> | 13 <sup>56</sup> |
| 20                                          | Оперативная работа         | 13 <sup>50</sup>           | 13 <sup>51</sup> | 13 <sup>52</sup> | 13 <sup>53</sup> | 13 <sup>54</sup> | 13 <sup>55</sup> | 13 <sup>56</sup> | 13 <sup>57</sup> | 13 <sup>58</sup> | 13 <sup>50</sup> | 13 <sup>51</sup> | 13 <sup>52</sup> | 13 <sup>53</sup> | 13 <sup>54</sup> | 13 <sup>55</sup> | 13 <sup>56</sup> | 13 <sup>57</sup> | 13 <sup>58</sup> |
| 21                                          | Личный разговор            | 13 <sup>59</sup>           | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> | 13 <sup>59</sup> |
| 22                                          | Оперативная работа         | 14 <sup>15</sup>           | 14 <sup>17</sup> | 14 <sup>19</sup> | 14 <sup>21</sup> | 14 <sup>23</sup> | 14 <sup>25</sup> | 14 <sup>27</sup> | 14 <sup>29</sup> | 14 <sup>31</sup> | 14 <sup>15</sup> | 14 <sup>17</sup> | 14 <sup>19</sup> | 14 <sup>21</sup> | 14 <sup>23</sup> | 14 <sup>25</sup> | 14 <sup>27</sup> | 14 <sup>29</sup> | 14 <sup>31</sup> |
| 23                                          | Получение деталей          | 14 <sup>25</sup>           | 14 <sup>26</sup> | 14 <sup>27</sup> | 14 <sup>28</sup> | 14 <sup>29</sup> | 14 <sup>30</sup> | 14 <sup>31</sup> | 14 <sup>32</sup> | 14 <sup>33</sup> | 14 <sup>25</sup> | 14 <sup>26</sup> | 14 <sup>27</sup> | 14 <sup>28</sup> | 14 <sup>29</sup> | 14 <sup>30</sup> | 14 <sup>31</sup> | 14 <sup>32</sup> | 14 <sup>33</sup> |
| 24                                          | Оперативная работа         | 14 <sup>57</sup>           | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> | 14 <sup>57</sup> |
| 25                                          | Служебный разговор         | 15 <sup>01</sup>           | 15 <sup>03</sup> | 15 <sup>05</sup> | 15 <sup>07</sup> | 15 <sup>09</sup> | 15 <sup>11</sup> | 15 <sup>13</sup> | 15 <sup>15</sup> | 15 <sup>17</sup> | 15 <sup>01</sup> | 15 <sup>03</sup> | 15 <sup>05</sup> | 15 <sup>07</sup> | 15 <sup>09</sup> | 15 <sup>11</sup> | 15 <sup>13</sup> | 15 <sup>15</sup> | 15 <sup>17</sup> |

| №<br>п/п                         | Затраты рабочего времени   | Текущее время по вариантам |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                  |                            | 1                          | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                | 8                | 9                | 10               | 11               | 12               | 13               | 14               | 15               | 16               | 17               | 18               |
| 26                               | Личный разговор            | 15 <sup>12</sup>           | 15 <sup>13</sup> | 15 <sup>14</sup> | 15 <sup>15</sup> | 15 <sup>16</sup> | 15 <sup>17</sup> | 15 <sup>18</sup> | 15 <sup>19</sup> | 15 <sup>20</sup> | 15 <sup>12</sup> | 15 <sup>13</sup> | 15 <sup>14</sup> | 15 <sup>15</sup> | 15 <sup>16</sup> | 15 <sup>17</sup> | 15 <sup>18</sup> | 15 <sup>19</sup> | 15 <sup>20</sup> |
| 27                               | Оперативная работа         | 15 <sup>30</sup>           | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> | 15 <sup>30</sup> |
| 28                               | Получение деталей          | 15 <sup>34</sup>           | 15 <sup>36</sup> | 15 <sup>38</sup> | 15 <sup>40</sup> | 15 <sup>42</sup> | 15 <sup>44</sup> | 15 <sup>46</sup> | 15 <sup>48</sup> | 15 <sup>50</sup> | 15 <sup>34</sup> | 15 <sup>36</sup> | 15 <sup>38</sup> | 15 <sup>40</sup> | 15 <sup>42</sup> | 15 <sup>44</sup> | 15 <sup>46</sup> | 15 <sup>48</sup> | 15 <sup>50</sup> |
| 29                               | Консультация у мастера     | 15 <sup>42</sup>           | 15 <sup>43</sup> | 15 <sup>44</sup> | 15 <sup>45</sup> | 15 <sup>46</sup> | 15 <sup>47</sup> | 15 <sup>48</sup> | 15 <sup>49</sup> | 15 <sup>52</sup> | 15 <sup>42</sup> | 15 <sup>43</sup> | 15 <sup>44</sup> | 15 <sup>45</sup> | 15 <sup>46</sup> | 15 <sup>47</sup> | 15 <sup>48</sup> | 15 <sup>49</sup> | 15 <sup>52</sup> |
| 30                               | Оперативная работа         | 16 <sup>06</sup>           | 16 <sup>16</sup> | 16 <sup>26</sup> | 16 <sup>36</sup> | 16 <sup>46</sup> | 16 <sup>56</sup> | 17 <sup>06</sup> | 17 <sup>16</sup> | 17 <sup>26</sup> | 16 <sup>06</sup> | 16 <sup>16</sup> | 16 <sup>26</sup> | 16 <sup>36</sup> | 16 <sup>46</sup> | 16 <sup>56</sup> | 17 <sup>06</sup> | 17 <sup>16</sup> | 17 <sup>26</sup> |
| 31                               | Смена инструмента          | 16 <sup>09</sup>           | 16 <sup>19</sup> | 16 <sup>29</sup> | 16 <sup>39</sup> | 16 <sup>49</sup> | 16 <sup>59</sup> | 17 <sup>09</sup> | 17 <sup>19</sup> | 17 <sup>29</sup> | 16 <sup>09</sup> | 16 <sup>19</sup> | 16 <sup>29</sup> | 16 <sup>39</sup> | 16 <sup>49</sup> | 16 <sup>59</sup> | 17 <sup>09</sup> | 17 <sup>19</sup> | 17 <sup>29</sup> |
| 32                               | Оперативная работа         | 16 <sup>15</sup>           | 16 <sup>25</sup> | 16 <sup>35</sup> | 16 <sup>45</sup> | 16 <sup>55</sup> | 17 <sup>05</sup> | 17 <sup>15</sup> | 17 <sup>25</sup> | 17 <sup>35</sup> | 16 <sup>15</sup> | 16 <sup>25</sup> | 16 <sup>35</sup> | 16 <sup>45</sup> | 16 <sup>55</sup> | 17 <sup>05</sup> | 17 <sup>15</sup> | 17 <sup>25</sup> | 17 <sup>35</sup> |
| 33                               | Уход по личным надобностям | 16 <sup>28</sup>           | 16 <sup>38</sup> | 16 <sup>48</sup> | 16 <sup>58</sup> | 17 <sup>08</sup> | 17 <sup>18</sup> | 17 <sup>28</sup> | 17 <sup>38</sup> | 17 <sup>48</sup> | 16 <sup>28</sup> | 16 <sup>38</sup> | 16 <sup>48</sup> | 16 <sup>58</sup> | 17 <sup>08</sup> | 17 <sup>18</sup> | 17 <sup>28</sup> | 17 <sup>38</sup> | 17 <sup>48</sup> |
| 34                               | Оперативная работа         | 16 <sup>45</sup>           | 16 <sup>55</sup> | 17 <sup>05</sup> | 17 <sup>15</sup> | 17 <sup>25</sup> | 17 <sup>35</sup> | 17 <sup>45</sup> | 17 <sup>45</sup> | 18 <sup>49</sup> | 16 <sup>45</sup> | 16 <sup>55</sup> | 17 <sup>05</sup> | 17 <sup>15</sup> | 17 <sup>25</sup> | 17 <sup>35</sup> | 17 <sup>45</sup> | 17 <sup>45</sup> | 18 <sup>49</sup> |
| 35                               | Уборка рабочего места      | 16 <sup>50</sup>           | 17 <sup>00</sup> | 17 <sup>10</sup> | 17 <sup>20</sup> | 17 <sup>30</sup> | 17 <sup>40</sup> | 17 <sup>50</sup> | 17 <sup>50</sup> | 18 <sup>50</sup> | 16 <sup>50</sup> | 17 <sup>00</sup> | 17 <sup>10</sup> | 17 <sup>20</sup> | 17 <sup>30</sup> | 17 <sup>40</sup> | 17 <sup>50</sup> | 17 <sup>50</sup> | 18 <sup>50</sup> |
| 36                               | Уборка в шкаф              | 16 <sup>57</sup>           | 17 <sup>07</sup> | 17 <sup>17</sup> | 17 <sup>27</sup> | 17 <sup>37</sup> | 17 <sup>47</sup> | 17 <sup>58</sup> | 17 <sup>57</sup> | 18 <sup>53</sup> | 16 <sup>57</sup> | 17 <sup>07</sup> | 17 <sup>17</sup> | 17 <sup>27</sup> | 17 <sup>37</sup> | 17 <sup>47</sup> | 17 <sup>58</sup> | 17 <sup>57</sup> | 18 <sup>53</sup> |
| Уход с работы – 17 <sup>00</sup> |                            |                            |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

Таблица 6.4 – Сводка одноименных затрат рабочего времени

| Виды затрат                                  | Наименование затрат                                   | Индекс | Повторяемость | Продолжительность, мин. |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|---------------|-------------------------|
| Подготовительно-заключительное               | Ознакомление с работой и чертежами                    | ПЗ-1   |               |                         |
|                                              | Получение инструктажа                                 | ПЗ-2   |               |                         |
|                                              | Получение и сдача инструмента и т.д.                  | ПЗ-3   |               |                         |
| Итого ПЗ                                     |                                                       |        |               |                         |
| Оперативное                                  |                                                       | ОП     |               |                         |
| Время организационного обслуживания          | Раскладка и уборка инструмента в начале и конце смены | ОМО-1  |               |                         |
|                                              | Осмотр и опробование станка и т.д.                    | ОМО-2  |               |                         |
| Итого ОМО                                    |                                                       |        |               |                         |
| Время технического обслуживания              | Смена инструмента вследствие затупления               | ОМТ-1  |               |                         |
|                                              | Подналадка станка                                     | ОМТ-2  |               |                         |
| Итого ОМТ                                    |                                                       |        |               |                         |
| Время перерывов на отдых и личные надобности | Отдых                                                 | ОТ-1   |               |                         |
|                                              | Личные надобности                                     | ОТ-2   |               |                         |
| Итого ОТ                                     |                                                       |        |               |                         |
| Потери организационно-технического характера | Ожидание работы                                       | ПО-1   |               |                         |
|                                              | Ожидание чертежа                                      | ПО-2   |               |                         |
| Итого ПО                                     |                                                       |        |               |                         |
| Потери по вине рабочего                      | Позднее начало и преждевременное окончание работы     | ПР-1   |               |                         |
|                                              | Уход с рабочего места                                 | ПР-2   |               |                         |
|                                              |                                                       | ПР-3   |               |                         |
| Итого ПР                                     |                                                       |        |               |                         |

3. Заполнить баланс рабочего времени по форме, показанной в табл. 6.5.

Фактическая часть баланса рабочего времени в минутах заполняется по данным, полученным в сводке одноименных затрат рабочего времени. Процент к оперативному времени рассчитывается как отношение данной категории затрат рабочего времени в минутах к оперативному.

При разработке нормативной части «Баланса рабочего времени» принимается:

- величина подготовительно-заключительного времени  $T_{ПЗ}^H = 8$  мин.;
- нормативная продолжительность времени на обслуживание рабочего места и личные надобности  $\alpha_{ом} + \alpha_{лн} = 45$  % оперативного времени;

Таблица 6.5 – Баланс рабочего времени

| Категории затрат рабочего времени | Обозначение | Фактический |              | Нормативный |              |
|-----------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                                   |             | мин.        | % к $T_{оп}$ | мин.        | % к $T_{оп}$ |
| Подготовительно-заключительное    | $T_{пз}$    |             |              |             |              |
| Оперативное                       | $T_{оп}$    |             | 100          |             | 100          |
| Обслуживание                      | $T_{ом}$    |             |              |             |              |
| Личные надобности                 | $T_{лн}$    |             |              |             |              |
| Потери организационно-технические | $T_{пот}$   |             |              | -           | -            |
| Потери по вине рабочего           | $T_{пр}$    |             |              | -           | -            |
| Время смены                       | $T_{см}$    | 480         |              | 480         |              |

- оперативное время определяется по формуле:

$$T_{оп}^H = \frac{T_{см} - T_{пз}^H}{1 + \frac{\alpha_{ом} + \alpha_{лн}}{100}};$$

- время на обслуживание рабочего места:

$$T_{обс}^H = T_{оп}^H \cdot \frac{\alpha_{ом}}{100};$$

- время на личные надобности:

$$T_{лн}^H = T_{оп}^H \cdot \frac{\alpha_{лн}}{100}.$$

Потери организационно-технические и по вине рабочего в нормативный баланс рабочего времени не включаются.

4. Рассчитать показатели использования рабочего времени и роста производительности труда.

Использование рабочего времени характеризуется следующими показателями:

- процентом оперативного времени

$$K_1 = \frac{T_{оп}^{\phi}}{T_{см}} \cdot 100;$$

- процентом потерь организационно-технического характера:

$$K_2 = \frac{T_{пот}^{\phi}}{T_{см}} \cdot 100;$$

- процентом потерь по вине рабочего:

$$K_3 = \frac{(T_{пр}^{\phi} - T_{лн}^{\phi}) - T_{лн}^H}{T_{см}} \cdot 100;$$

- процентом явных потерь рабочего времени:

$$K_4 = K_2 + K_3.$$

Рост производительности труда при ликвидации явных потерь рабочего времени определяется по формуле:

$$\Delta ПТ = \frac{K_4}{K_1} \cdot 100.$$

5. Сделать выводы по совершенствованию организации труда.

## 7. РАЗМЕЩЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ

Проблема размещения, преследуя цель найти наиболее экономичный вариант управления материальным потоком, связывает производителей и потребителей наилучшим с точки зрения экономических показателей образом. В данной главе рассматриваются особенности проблемы размещения и подхода к ее решению в сфере производства и сервиса, соответствующие стратегии управления, методы оценки значений переменных, используемых при анализе размещения, и методики, облегчающие поиск наиболее эффективного варианта размещения. Выбирая свое местоположение, компания совершает долговременные затраты и обеспечивает длительный доход как результат деятельности на выбранном месте. Поэтому размещение влияет и на распределение (на схему распределительной сети). Построение распределительной системы начинается с размещения производства, а далее рассматриваются места размещения производственных складов, складов оптовой торговли относительно сети магазинов розничной торговли, выбирается система доставки, т. е. определяется транспортная сеть и решается целый ряд других вопросов в рамках распределительной логистики.

**Размещение.** Выбирая местоположение своих объектов, компания принимает решение о значительных капитальных вложениях с достаточно продолжительным сроком окупаемости, обеспечивая возможность устойчивого получения дохода в течение длительного времени в результате деятельности на выбранном месте. Размещение является критическим условием для величины постоянных и переменных затрат как для производственных, так и сервисных фирм. В зависимости от изготавливаемого продукта и типа производства или вида сервиса, транспортные затраты на доставку товара к местам реализации могут достигать 25% цены реализации. Эта часть дохода фирмы может оказаться как раз необходимой, чтобы покрыть расходы на фрахт на доставку сырья, необходимого для производства продукта. Другими затратами, на величину которых влияет размещение подразделений и филиалов фирмы, являются налоги, заработная плата и затраты на материалы. Выбор размещения может изменять затраты на производство и распределение, увеличивая или уменьшая их до 10% от величины общих затрат. Понижение затрат производства в результате нахождения оптимального местоположения может оказаться более простым решением, чем снижение производственных затрат на те же 10% за счет совершенствования системы управления фирмой.

Однажды осуществленные фирмой затраты, определяемые спецификой местоположения, дают долговременный эффект и снизить их трудно. Например, если новое размещение завода предполагается в регионе с высокой стоимостью энергоресурсов, то даже управление, основанное на самой передовой стратегии использования энергоресурсов, не получит стартового преимущества.

Справедливо это и для самой передовой стратегии использования трудовых ресурсов, если наемный труд в избранном для производства регионе ха-

рактируется высокой стоимостью (оплатой), слабой профессиональной подготовленностью или низкой трудовой дисциплиной. Отсюда следует, что работа по поиску оптимального размещения объектов фирмы может рассматриваться как важное направление инвестирования, требующее тщательного экономического обоснования в рамках выбора соответствующей стратегии.

Выбор стратегии, нацеленной на поиск и реализацию наиболее эффективного варианта размещения, во многом зависит от того, что собой представляет фирма и ее объекты, требующие размещения. Анализ размещения предприятий производственной фирмы фокусируется на минимизации общих затрат производства и распределения. Предприятия розничной торговли и сервиса акцентируют внимание на максимизации валового дохода (выручки). Анализ размещения складов фокусируется на поиске приемлемой комбинации транспортно-складских затрат и скорости поставки товара потребителю. Таким образом, объектом стратегии размещения является величина прибыли как результат удачного размещения структурных объектов фирмы.

**Особенности подхода к размещению.** Множество факторов влияют на решения о размещении в тех или иных регионах (странах): производительность труда, международный обмен, изменения в экономике, безработица, профсоюзы, зонирование по экономическим районам, экология, налоги и др. Необходим объективный анализ этих факторов, который должен базироваться главным образом на анализе затрат.

**Производительность труда.** Часто при принятии решения о размещении производства первым встает вопрос: размещать в своей стране или за рубежом. В таких случаях может оказаться не достаточным сравнение размеров оплаты труда по альтернативным вариантам размещения. Поскольку и производительность труда различается по странам и регионам, нужно проводить анализ оплаты труда по вариантам размещения с учетом производительности труда. Например, фирма, выплачивающая \$12 при производстве 1,25 единицы товара в час, тратит на труд меньше, чем фирма, которая выплачивает \$10 при производстве одной единицы товара в час:

$$\frac{\text{Стоимость труда (заработная плата за час)}}{\text{Производительность (единиц в час)}} = \text{Затраты на единицу}$$

Случай 1:  $\$12/1,25 = \$9,60$ ;

Случай 2:  $\$10/1,00 = \$10,00$ .

Затраты труда на единицу продукта иногда называют трудовым содержанием продукта. Часовая производительность труда является критической единицей измерения эффективности затрат производителя; низкая оплата труда часто служит причиной низкой производительности и низкого уровня обслуживания потребителей.

**Затраты.** Можно разделить затраты на две категории: точно определяемые и не поддающиеся точному определению. Точно определяемые затраты – это затраты, которые с достаточной точностью идентифицируются и отображаются в бухгалтерском учете фирмы. Это затраты по таким направлениям, как труд, материалы, налоги, инфляция, потеря стоимости, полезность, ценность и др. Затраты, не поддающиеся точному определению, распространяются на такие сферы, как качество образования, работа общественного транспорта, отношение населения к производству и компании, уровень занятости в регионе. Сюда же относятся затраты будущих периодов, затраты, вызванные изменением климата, связанные с поддержанием здоровья, созданием мест отдыха и занятия спортом, определяющие уровень жизни.

Например, решение о размещении предприятия, представленное к рассмотрению властям, может быть отклонено ими еще на стадии согласования и утверждения или вызвать бурные протесты со стороны местного населения. Тоже может произойти при строительстве или эксплуатации объекта, размещаемого компанией в данном регионе. В любом случае это связано с дополнительными затратами (или потерями) для компании, поэтому их нельзя не учитывать при принятии решений о размещении.

**Размещение в производстве и сервисе.** В отличие от производственного сектора, где решение проблемы размещения сфокусировано на минимизации затрат, в сфере услуг внимание сосредоточено на максимизации выручки. Особенно это характерно для розничной торговли. Это связано с тем, что производственные затраты в значительной степени зависят от решения о выборе места размещения производства, в то время как затраты сервисных фирм мало зависят от места их расположения, от этого зависит их выручка. Таким образом, для сферы услуг наилучшим размещением является такое, которое обеспечивает получение наибольшей выручки при заданном объеме услуг.

В процессе принятия решения о размещении нужно тщательно изучить ситуацию на обслуживаемой территории, в том числе по вариантам. При этом необходим учет и анализ следующих факторов:

- 1) покупательной способности потребителей;
- 2) совместимости имиджа и сервиса фирмы с демографической ситуацией;
- 3) конкуренции;
- 4) особенностей размещения фирмы и конкурентов;
- 5) уровня обслуживания потребителей фирмой, конкурентами и партнерами по бизнесу;
- 6) операционной политики фирмы;
- 7) качества менеджмента.

Анализ этих факторов помогает получить объективную оценку ситуации в местах возможного размещения и судить о величине ожидаемого дохода по вариантам размещения.

Характеристика стратегий размещения для производственных и сервисных фирм представлена в табл. 7.1.

Таблица 7.1 – Стратегии размещения для сферы производства и сферы услуг

| <b>Размещение в сфере производства</b>                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Размещение в сфере услуг</b>                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Центральная проблема – затраты                                                                                                                                                                                                                                                                  | Центральная проблема – выручка                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Материальные затраты</b><br>Транспортные затраты (по доставке сырья, материалов и готовой продукции)<br>Затраты на энергию<br>Затраты на обработку<br>Затраты на труд<br>Затраты на материалы<br>Налоги и пр.                                                                                | Объем / выручка<br>Территория обслуживания<br>Объем закупок<br>Конкуренция<br>Реклама / продвижение продукции на рынок / ценообразование                                                                                                                                        |
| <b>Нематериальные и будущие затраты</b><br>Позиция профсоюзов<br>Качество жизни<br>Образование<br>Местные власти                                                                                                                                                                                | <b>Физические параметры</b><br>Парковка / доступность<br>Безопасность / освещенность<br>Внешний вид / облик<br>Дочерний бизнес                                                                                                                                                  |
| <b>Методы</b><br>Взвешивание факторов<br>Анализ критической точки<br>Карты пересечений<br>Линейное программирование (транспортный метод)                                                                                                                                                        | <b>Методы</b><br>Корреляционный анализ факторов<br>Расчеты по транспорту<br>Анализ демографической ситуации на обслуживаемой территории<br>Анализ интенсивности закупок на обслуживаемой территории                                                                             |
| <b>Выводы</b><br>Затраты в основном зависят от размещения производства<br>Большинство основных затрат связаны с местоположением предприятия<br>Слабый контакт с потребителями требует особого внимания к идентифицируемым затратам<br>Сложно определяемые затраты могут быть объективно оценены | <b>Выводы</b><br>Выручка главным образом зависит от местоположения предприятия<br>Доходы находятся в тесной зависимости от контактов с потребителями<br>Затраты относительно стабильны для данного района, поэтому критической является функция выручки, которая может меняться |

Для решения задач размещения используются четыре группы методов:

1) методы взвешивания – назначение весов и предельных значений для различных факторов, учет и измерение материальных затрат (налогов, затрат на труд и др.), исследование нематериальных затрат, рассмотрение затрат в краткосрочном и долгосрочном периодах;

2) методы безубыточного размещения (*location break-even methods*) – специальное приложение анализа критической точки и карт пересечений к проблеме размещения;

3) метод центра гравитации – математическая процедура, используемая для нахождения размещения единичного склада, обслуживающего определенное число хранилищ розничной торговли;

4) транспортные методы – методы линейного программирования, базирующиеся на технике построения цепочек «пункт снабжения – пункт потребления».

## **Практическое занятие №6 «Метод взвешивания, критической точки и центра гравитации»**

### **1. Метод взвешивания**

Метод взвешивания оценок является достаточно эффективным средством определения процессов с трудно измеряемыми затратами, к числу которых относится, в частности, процесс размещения. Метод помогает дать количественную оценку решения о размещении, систематизируя факторы, влияющие на процесс принятия решения, с оценкой их веса. Анализируя информацию о затратах производства, темпах изменения экономических показателей, оценивая значимость каждого из факторов, таких, как уровень образования, обустроенность зон отдыха, качество труда, фирма получает представление о различных вариантах размещения. Типичные факторы размещения и их относительные веса для производственных (перерабатывающих) фирм представлены в табл. 7.2.

Таблица 7.2 – Факторы размещения и их веса

| Факторы                                                   | Вес, % |
|-----------------------------------------------------------|--------|
| <i>Затраты на труд в регионе</i>                          |        |
| Размер заработной платы                                   | 8,29   |
| Значимость профсоюзов                                     | 5,99   |
| Изменения заработной платы                                | 5,44   |
| Изменение значимости профсоюзов                           | 4,81   |
| Всего                                                     | 23,95  |
| <i>Доступность и продуктивность ресурсов в регионе</i>    |        |
| Доступность рабочей силы                                  | 6,66   |
| Затраты на энергию                                        | 4,93   |
| Добавленная стоимость                                     | 4,70   |
| Трудовые потери                                           | 4,09   |
| Всего                                                     | 20,38  |
| <i>Фискальная политика местных (региональных) властей</i> |        |
| Рост дохода на душу населения                             | 4,65   |
| Налоги                                                    | 4,50   |
| Изменения в налогах                                       | 4,09   |
| Деловая активность в регионе                              | 4,03   |
| Рост дефицита местного бюджета                            | 3,59   |
| Всего                                                     | 20,86  |
| <i>Затраты на регулирование занятости в регионе</i>       |        |
| Фонды социального страхования                             | 5,73   |
| Пособия по безработице                                    | 4,75   |
| Средний размер страховой суммы                            | 5,16   |
| Чистые выплаты из фонда занятости                         | 4,16   |

| Факторы                                           | Вес, % |
|---------------------------------------------------|--------|
| Всего                                             | 19,80  |
| <i>Основные показатели уровня жизни в регионе</i> |        |
| Образование                                       | 4,86   |
| Прожиточный минимум                               | 3,56   |
| Общественный транспорт                            | 3,21   |
| Медицинское обслуживание                          | 3,38   |
| Всего                                             | 15,01  |
| Итого                                             | 100,00 |

Метод взвешивания предполагает выполнение следующих шагов:

- 1) разработка перечня соответствующих факторов (табл. 7.2);
- 2) присвоение веса каждому из факторов, отражающего степень его важности для компании;
- 3) разработка шкалы оценок для каждого из факторов (например, 1...10 или 1...100 пунктов);
- 4) оценка факторов по шкале для каждого варианта размещения;
- 5) оценка каждого варианта размещения по сумме факторов с учетом их весов;
- 6) выработка рекомендаций о выборе варианта размещения, основываясь на поиске альтернативы с максимальной итоговой оценкой.

### Пример 1. Метод взвешивания

Фирма решает расширить производство путем создания еще одного завода в новом месте. Это необходимо в связи с исчерпанием лимита расширения мощности существующих заводов в местах их нынешнего размещения. Рейтинговый лист в табл. 7.3 представляет собой перечень трудно оцениваемых факторов, которые, по мнению фирмы, являются важными при решении вопроса о новом размещении, а также веса и рейтинговые оценки для двух возможных мест размещения – пункта 1 и пункта 2.

Таблица 7.3 – Веса, оценки и решения по вариантам размещения

| Фактор                       | Вес  | Оценки по пункту 1 | Оценки по пункту 2 | Взвешенные оценки по пункту 1 | Взвешенные оценки по пункту 2 |
|------------------------------|------|--------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Труд и позиции профсоюзов    | 0,25 | 70                 | 60                 | $0,25 \cdot 70 = 17,5$        | $0,25 \cdot 60 = 15,0$        |
| Транспорт                    | 0,05 | 50                 | 60                 | $0,05 \cdot 50 = 2,5$         | $0,05 \cdot 60 = 3,0$         |
| Образование и здоровье       | 0,10 | 85                 | 80                 | $0,10 \cdot 85 = 8,5$         | $0,10 \cdot 80 = 8,0$         |
| Структура налогов            | 0,39 | 75                 | 70                 | $0,39 \cdot 75 = 29,3$        | $0,39 \cdot 70 = 27,3$        |
| Ресурсы и производительность | 0,21 | 60                 | 70                 | $0,21 \cdot 60 = 12,6$        | $0,21 \cdot 70 = 14,7$        |
| Общая оценка                 | 1,00 |                    |                    | 70,4                          | 68,0                          |

Для оценки альтернатив размещения используется пофакторная система весов и рейтинговая оценка каждого фактора по шкале от 1 до 100 единиц. В

результате получаются общие оценки по вариантам размещения: 70,4 для пункта 1 и 68,0 для пункта 2. Поскольку общая рейтинговая оценка выше для пункта 1, принимается решение о предпочтительности размещения завода именно в этом пункте. Оценки и веса для факторов допускают изменение их значений. Используя это, можно анализировать чувствительность к подобным изменениям полученных решений о размещении. Например, в данном случае изменение на 10 единиц оценки затрат на труд приведет к изменению решения о размещении, т.е. пункт 2 станет более предпочтительным для размещения завода.

Изменяя веса или оценки отдельных факторов, фирма может устанавливать степень их влияния на решения о размещении. Факторы, оказывающие слабое влияние на результат, могут быть выведены из процедуры принятия решения, т.е. фирма может отказаться от использования их в качестве критериев при поиске решения о размещении.

## **2. Метод критической точки**

Анализ критической точки – это метод сравнительного анализа затрат по вариантам размещения, позволяющий сделать выбор наиболее эффективного из имеющегося набора альтернатив. Определяя постоянные и переменные затраты и представляя их графически для каждого возможного размещения, можно выбрать вариант, которому соответствуют самые низкие общие затраты размещения. Анализ критической точки при размещении может быть представлен как графически, так и аналитически. Графическое представление имеет преимущество, обеспечивая ранговое значение оценки предпочтения каждого места размещения. Анализ критической точки при размещении включает три шага:

- 1) определение постоянных и переменных затрат для каждого варианта размещения;
- 2) построение графа «затраты/результат» для каждого варианта размещения с затратами на вертикальной оси и годовым результатом на горизонтальной оси;
- 3) выбор варианта размещения с наименьшими суммарными затратами на заданный результат.

Когда задача размещения решается применительно к производству, под результатом обычно понимается объем производства.

### **Пример 2. Анализ критической точки**

Фирма рассматривает три варианта возможного размещения нового производства: населенные пункты 1, 2 и 3. Расчет затрат дал следующие результаты: постоянные затраты по вариантам размещения соответственно \$30 000, \$60 000, \$ 110 000; переменные затраты - \$75, \$45 и \$25 на единицу продукции. Ожидаемая цена единицы продукции \$120. Задача заключается в

том, чтобы найти наиболее экономичный вариант размещения для ожидаемого объема выпуска 2000 ед. в год.

Для каждого из возможных вариантов размещения на заданный объем выпуска строятся графики постоянных затрат, которые существуют и при нулевом выпуске продукции, и общих затрат, которые представляют собой сумму постоянных и переменных затрат. Получаемая в результате карта пересечений представлена на рис. 7.1. Общие затраты по вариантам размещения составят:

- для пункта 1  $\$30\,000 + \$75 \cdot 2000 = \$180\,000$ ;
- для пункта 2  $\$60\,000 + \$45 \cdot 2000 = \$150\,000$ ;
- для пункта 3  $\$110\,000 + \$25 \cdot 2000 = \$160\,000$ .

Вывод: при заданном объеме выпуска 2000 ед. в год минимальными затратами размещения характеризуется пункт 2. Ожидаемый годовой доход при этом будет равен:

$\text{Доход} = \text{Суммарная выручка} - \text{Суммарные затраты} = \$120 \cdot 2000 - \$150\,000 = \$90\,000$ .

Карта пересечений показывает также, что при объеме выпуска менее 1000 единиц в год для размещения производства станет предпочтительнее пункт 1, а при объеме выпуска более 2500 единиц в год – пункт 3. Для этих случаев точки пересечения на графе 1000 и 2500 по оси абсцисс.

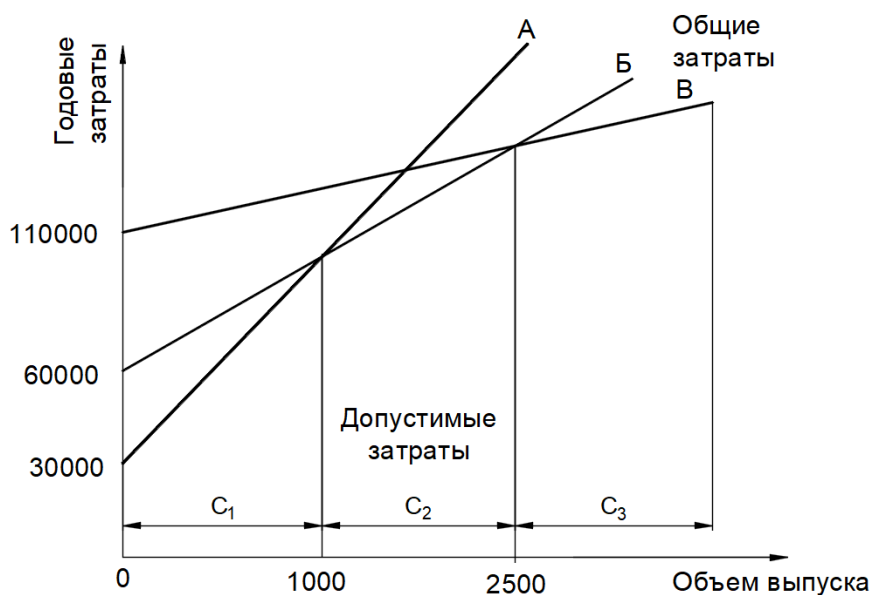


Рисунок 7.1 – Карта пересечений для анализа размещения производства:  
А, Б и В – кривые общих затрат соответственно для пунктов 1, 2 и 3;  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  – допустимые затраты соответственно для пунктов 1, 2 и 3

### 3. Метод центра гравитации

Метод центра гравитации – это математический метод, который используется, в частности, для нахождения места размещения крупного оптового склада, снабжающего несколько расположенных поблизости мелких складов розничной торговли. Метод позволяет учесть при размещении центрального

склада местоположение магазинов розничной торговли (складов), объемы перевозимых к ним товаров, затраты на перевозку. Метод центра гравитации предполагает последовательное выполнение ряда шагов. Первый шаг заключается в размещении назначений в системе координат. Начало системы координат и используемая шкала согласовываются на основе корректного представления относительных расстояний. Это можно сделать путем наложения координатной сетки определенного масштаба на карту местности. Центр гравитации определится следующим образом:

$$C_x = \frac{\sum d_{ix} W_i}{\sum W_i},$$

$$C_y = \frac{\sum d_{iy} W_i}{\sum W_i}.$$

где  $C_x$  – координата  $x$  центра гравитации;

$C_y$  – координата  $y$  центра гравитации;

$d_{ix}$  – координата  $x$  размещения  $i$ ;

$d_{iy}$  – координата  $y$  размещения  $i$ ;

$W_i$  – объем товара, перемещаемого от / в размещение  $i$ .

Поскольку объем поставки (например, число контейнеров, перевозимых в каждом месте) влияет на затраты, использование в качестве критерия оценки только расстояния доставки принципиально невозможно. Метод центра гравитации исходит из того, что затраты прямо пропорциональны расстоянию доставки и объему перевозимого груза. Идеальным вариантом размещения центрального склада является вариант, который минимизирует взвешенные расстояния доставки между центральным складом и всеми пунктами доставки. При этом расстояния взвешиваются и в качестве весов используются данные о числе перевозимых контейнеров за определенный промежуток времени.

### Пример 3. Метод центра гравитации

Принадлежащая фирме сеть из шести центров розничной торговли охватывает шесть городов, по одному центру в каждом городе; пусть это будут города 1...6. Все магазины сети снабжались из единого распределительного центра в городе 7, где размещался центральный склад фирмы. Склад устарел и не отвечает современным требованиям. Фирма решает построить новый современный складской комплекс. Возникает вопрос, где его лучше разместить.

Решение о месте размещения центрального склада может быть найдено с помощью метода центра гравитации. Для этого фирмой подготовлены необходимые исходные данные. О состоянии спроса в районе обслуживания каждого магазина можно судить по объему поставок товаров. Фирма измеряет объем поставок, подсчитывая количество контейнеров за месяц. Эта информация сведена в табл. 7.4.

Таблица 7.4 – Месячный спрос по районам обслуживания

| Места размещения<br>центров розничной торговли | Месячный спрос,<br>контейнеров | Координаты |
|------------------------------------------------|--------------------------------|------------|
| Город 1                                        | 400                            | (60; 95)   |
| Город 2                                        | 300                            | (80; 75)   |
| Город 3                                        | 200                            | (30; 120)  |
| Город 4                                        | 100                            | (90; 110)  |
| Город 5                                        | 300                            | (127; 130) |
| Город 6                                        | 100                            | (65; 40)   |

Например, центр розничной торговли в городе 1 характеризуется следующими координатами и показателем  $W_i$ :

$$d_{1x} = 60; d_{1y} = 95; W_1 = 400.$$

Используя эту информацию, фирма находит координаты центра гравитации:  $C_x = (60 \cdot 400 + 80 \cdot 300 + 30 \cdot 200 + 90 \cdot 100 + 127 \cdot 300 + 65 \cdot 100) / (400 + 300 + 200 + 100 + 300 + 100) = 76,9$ ;

$$C_y = (95 \cdot 400 + 75 \cdot 300 + 120 \cdot 200 + 110 \cdot 100 + 130 \cdot 300 + 40 \cdot 100) / (400 + 300 + 200 + 100 + 300 + 100) = 98,9.$$

Таким образом, координаты (76,9; 98,9) центра гравитации характеризуют место, где должен быть размещен новый центральный склад фирмы. Совмещение координатной сетки с картой местности одного масштаба позволяет легко определить искомую географическую точку (точку на местности).

### Практическое занятие №7 «Транспортные методы»

Целью транспортных методов является определение наилучших путей перевозки грузов из нескольких пунктов снабжения в несколько пунктов назначения (потребления), обеспечивающих наименьшие суммарные затраты по производству и транспортировке товаров. Обычно рассматриваются мощности каждого из источников товаров и потребности в этих товарах каждого из пунктов потребления. Каждая фирма, имеющая сеть поставщиков и потребителей, сталкивается с такой задачей. Хотя линейное программирование и может быть использовано для ее решения, более эффективными все-таки являются специальные методы решения транспортной задачи. Как и в линейном программировании, процесс решения транспортной задачи с использованием специальных методов начинается с определения допустимого начального решения, которое затем шаг за шагом улучшается до оптимума. Транспортные методы чрезвычайно просты для решения «вручную».

Для построения и анализа транспортной сети фирма должна определить мощность каждого поставщика (завода), потребности каждого потребителя (склада), маршруты и затраты перевозки (из каждого источника в каждый пункт назначения).

#### Пример 4. Транспортная задача

Данные о перевозках фирмы представлены на рис. 7.2 и в табл. 7.5.

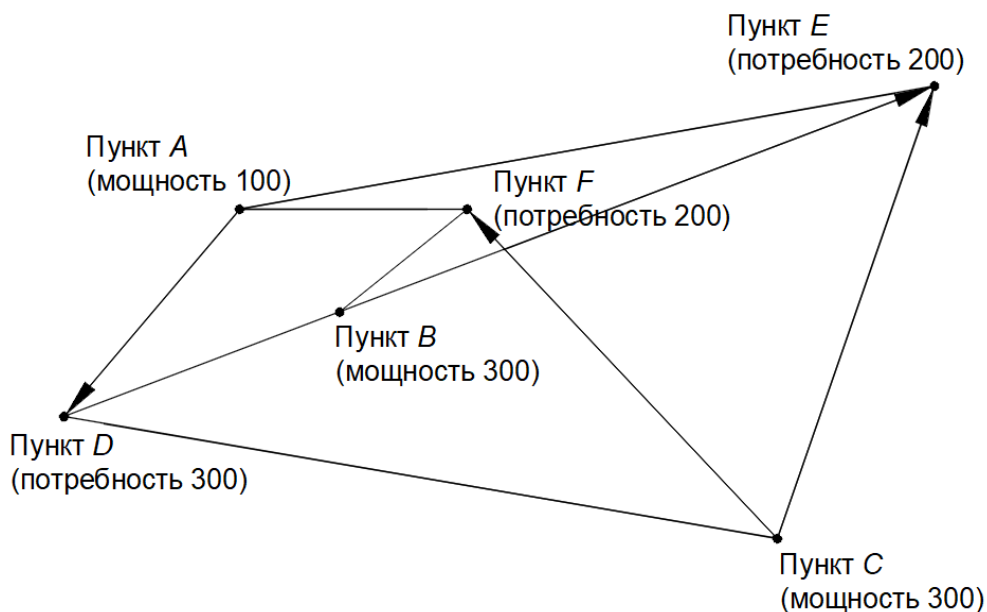


Рисунок 7.2 – Транспортная схема

Таблица 7.5 – Транспортные затраты на единицу продукции

| Из пункта \ В пункт | D | E | F |
|---------------------|---|---|---|
| A                   | 5 | 4 | 3 |
| B                   | 8 | 4 | 3 |
| C                   | 9 | 7 | 5 |

Составляется транспортная матрица задачи, как показано в табл. 7.6.

Таблица 7.6 – Транспортная матрица

| Из пункта \ В пункт | D   | E   | F     | Мощность завода |
|---------------------|-----|-----|-------|-----------------|
| A                   | 5   | 4   | 3     | 100****         |
| B                   | 8   | 4   | 3     | 300             |
| C*                  | 9   | 7   | 5     | 300             |
| Потребность складов | 300 | 200 | 200** | 700***          |

Примечания. \* В ячейке на пересечении строки C и графы E указывается возможный объем поставки продукции с завода в пункте C на производственный склад в пункте E.

\*\* Потребность склада в пункте F.

\*\*\* Суммарный спрос или суммарное предложение.

\*\*\*\* Мощность завода в пункте A.

**Правило «северо-западного угла».** Как только исходные данные приведены в табличную форму, нужно определить начальное допустимое решение задачи. Для поиска начального решения используется систематизирован-

ная процедура под названием правило «северо-западного угла». Данное правило требует, чтобы определение числа перевозимых единиц начиналось в левом верхнем углу таблицы (т.е. в «северо-западном углу») и выполнялись следующие условия:

- следует израсходовать всю мощность источника в строке прежде, чем двинуться вниз к следующей строке;
- необходимо удовлетворить потребность каждого потребителя в графе прежде, чем двинуться к следующей графе вправо;
- нужно проверить, что все потребности удовлетворены, а мощности полностью использованы (израсходованы).

В примере 4 правило «северо-западного угла» используется фирмой для поиска начального допустимого решения транспортной задачи. Требуется сделать пять шагов, чтобы получить начальный план перевозок:

- 1) назначаются 100 контейнеров из *A* в *D* (израсходовав всю мощность *A*);
- 2) назначаются 200 контейнеров из *B* в *D* (полностью удовлетворив потребность *D*);
- 3) назначаются 100 контейнеров из *B* в *E* (израсходовав всю мощность *B*);
- 4) назначаются 100 контейнеров из *C* в *E* (полностью удовлетворив потребность *E*);
- 5) назначаются 200 контейнеров из *C* в *F* (израсходовав всю мощность *C* и полностью удовлетворив потребность *F*).

Результаты представлены в табл. 7.7.

Таблица 7.7 – Решение по правилу «северо-западного угла»

| В пункт<br>Из пункта | <i>D</i>         | <i>E</i>         | <i>F</i>         | Мощность<br>завода |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| <i>A</i>             | 100 <sup>5</sup> | - <sup>4</sup>   | - <sup>3</sup>   | 100                |
| <i>B</i>             | 200 <sup>8</sup> | 100 <sup>4</sup> | - <sup>3</sup>   | 300                |
| <i>C</i> *           | - <sup>9</sup>   | 100 <sup>7</sup> | 200 <sup>5</sup> | 300                |
| Потребность складов  | 300              | 200              | 200              | 700                |

Можно подсчитать суммарную стоимость перевозок в соответствии со сделанными назначениями. Для примера расчет стоимости перевозок представлен в табл. 7.8. Суммарная стоимость перевозок составляет 4200 ед.

Таблица 7.8 – Расчет стоимости перевозок

| Маршрут<br>(начальный и<br>конечный пункт) | Объем перевозок,<br>контейнеров | Стоимость<br>перевозки одного<br>контейнера | Суммарные затраты |
|--------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|
| <i>A-D</i>                                 | 100                             | 5                                           | 500               |
| <i>B-D</i>                                 | 200                             | 8                                           | 1600              |
| <i>B-E</i>                                 | 100                             | 4                                           | 400               |
| <i>C-E</i>                                 | 100                             | 7                                           | 700               |
| <i>C-F</i>                                 | 200                             | 5                                           | 1000              |
| Итого                                      |                                 |                                             | 4200              |

Полученное решение является допустимым, поскольку полностью удовлетворяет все потребности и окончательно использует все мощности по поставкам. Было бы еще лучше, если бы полученное решение обеспечивало также минимум затрат на все перевозки. Поскольку это пока не известно и маловероятно, необходимо продолжить поиск оптимального решения, используя специальную процедуру. Методы решения таких задач достаточно полно представлены в специальной литературе.

### **Практическое занятие №8 «Методы дерева решений»**

Когда обращаются к решениям производственного менеджмента, то предполагают, что этот процесс тесно связан с использованием моделей и количественного анализа. Теория принятия решений представляет собой общий аналитический подход к выбору направлений действий в любой сфере деятельности человека. Она широко используется и в производственном (операционном) менеджменте, начиная от анализа перспектив новых товаров, выбора методов производства, планирования размещения и вплоть до составления производственных расписаний. В теории принятия решений существуют три основных направления. Их выбор зависит от степени определенности возможных исходов или последствий, с которыми может столкнуться менеджер, принимающий решения. Это следующие типы подходов к принятию решений.

1. Принятие решений в условиях определенности, когда принимающий решение знает с определенностью последствия или результат выбора им любой альтернативы. Менеджеру необходимо сравнить альтернативы и принять решение, что не всегда бывает просто. Примером является задача составления производственных расписаний, которая постоянно возникает на нижнем уровне производственного планирования и вызывает существенные трудности с разрешением.

2. Принятие решений в условиях риска, когда принимающий решение знает вероятность появления того или иного результата. Цель менеджера – максимизировать ожидаемый результат.

3. Принятие решений в условиях неопределенности, когда принимающий решение не может оценить вероятности появления результата для каждой альтернативы. Этот случай самый сложный для менеджера.

Вне зависимости от типа и сложности решаемой задачи, особенностей метода, используемого для ее решения, все принимающие решения сталкиваются с альтернативами, из которых необходимо произвести выбор лучшей, и состояниями внешней среды. Альтернатива – направление действий или стратегия, которая может быть выбрана принимающим решение. Состояние среды – внешняя (в нашем случае экономико-управленческая) ситуация, на которую принимающий решение не может или почти не может оказывать влияние. Кроме того, доступная ему информация о среде может быть неполной и неопределенной. Чтобы представить альтернативы решений и состоя-

ния среды, менеджер может использовать два простых и наглядных способа: графический – построить дерево решений и табличный.

Наиболее широко используемым методом для решения разнообразных задач менеджмента является метод дерева решений, или метод платежной матрицы. Этот метод используется для ответа на вопрос, какая из альтернативных стратегий поведения в наибольшей степени соответствует достижению поставленных целей в условиях неопределенности внешней среды или риска. Метод может помочь менеджерам принимать управленческие решения в подавляющем большинстве ситуаций, практически возникающих в их работе. Метод имеет три преимущества:

1) он заставляет менеджера ввести в круг рассмотрения все возможные варианты, в том числе и неблагоприятные (известно, что психологические особенности заставляют менеджеров завышать ожидаемые результаты или исключать из анализа неблагоприятные исходы; метод позволяет избежать подобных ошибок, хотя они могут перейти на процедуру прогнозирования вероятностей состояний внешней среды);

2) он формализует процесс оценки вариантов и выбора лучшего из них даже в условиях скудной информации о вариантах и окружающей среде, тем самым он всегда оказывается более предпочтительным, чем принятие решения без использования каких-либо методов;

3) он используется на всех уровнях управления для решения разнообразных задач.

Метод относится к теоретико-игровым методам, но несмотря на это, он использует и аналитические зависимости, и прогнозирование.

## **1. Метод дерева решений**

Платежная матрица – это запись в матричной форме денежных платежей/полезностей. Строки матрицы – альтернативные стратегии поведения, столбцы – возможные состояния внешней среды. В клетках матрицы указываются платежи, или стоимостные оценки ожидаемых исходов при принятии данной управленческой альтернативы и возникновении определенного состояния внешней среды. Платежи могут иметь смысл положительных результатов или (доходов, а также – отрицательных результатов или расходов. В первом случае задача решается на максимизацию дохода, во втором – на минимизацию расходов.

### **Пример 5**

Компания по производству легких, быстромонтируемых складских помещений решает вопрос о строительстве нового завода. При этом можно построить большой завод, малый завод либо вообще отказаться от строительства (примеры принятия стратегического решения). Внешняя рыночная среда (спрос, конкуренты, распоряжения муниципальных властей и др.) может благоприятствовать строительству, а может не благоприятствовать. Платежи

(совокупный доход компании за несколько лет, обусловленный принятием того или иного решения) указаны в табл. 7.9.

Таблица 7.9 – Доходы компании при различных стратегиях

| Альтернативные стратегии | Доход компании, руб.              |                                     |
|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
|                          | при благоприятном состоянии среды | при неблагоприятном состоянии среды |
| Построить большой завод  | 200 000                           | -180 000                            |
| Построить малый завод    | 100 000                           | -20 000                             |
| Отказ от строительства   | 0                                 | 0                                   |

Принятие решения в условиях полной неопределенности среды возможно с использованием трех критериев.

1. *Maximax* – ориентирован на получение максимального ожидаемого результата (подход оптимиста). В соответствии с ним в качестве оптимальной выбирается альтернатива, дающая максимум в клетках платежной матрицы. В примере 5 решение по этому критерию – построить большой завод.

2. *Maximin* – ориентирован на получение гарантированного выигрыша при наихудшем состоянии внешней среды (подход пессимиста, критерий Вальда). В соответствии с ним в качестве оптимальной выбирается альтернатива, имеющая максимальное значение ожидаемого результата в наименее благоприятном состоянии среды. Здесь решение – отказ от строительства.

3. Равновесный подход (критерий Лапласа), при котором выбирается альтернатива с максимальным значением усредненного по всем состояниям среды платежа. Здесь:

$$а) \frac{200\,000 + (-180\,000)}{2} = 10\,000 \text{ руб.};$$

$$б) \frac{100\,000 + (-20\,000)}{2} = 40\,000 \text{ руб.} \rightarrow \text{оптимальная стратегия};$$

$$в) 0.$$

Решения в условиях риска принимаются в тех случаях, когда существует возможность спрогнозировать (дать оценку вероятности) появление того или иного состояния внешней среды. Выбор лучшего варианта в этом случае производится на основе расчета ожидаемой денежной отдачи (*expected monetary value, EMV*). Значения *EMV* для каждой альтернативы рассчитываются как взвешенные по вероятностям суммы платежей (принцип Байеса):

$$EMV_i = \sum_j P_{ij} p_j,$$

где  $P_{ij}$  – платеж при выборе  $i$ -й альтернативы и  $j$ -м состоянии внешней среды;  
 $p_j$  – вероятность возникновения  $j$ -го состояния внешней среды.

Критерий выбора лучшей стратегии – максимальное значение *EMV*. Показатель *EMV* – это ожидаемая средняя выгода от принятия решения при большом числе вариантов реализации. Отметим, что возможные состояния внешней среды взаимоисключают друг друга и в совокупности исчерпывают

все принимаемые в расчет варианты, сумма вероятностей их возникновения всегда должна быть равна единице, т.е.

$$\sum_j p_j = 1.$$

Рассмотрим решение поставленной выше задачи (пример) в условиях риска. Для этого зададим соотношение вероятностей двух состояний внешней среды как 40-60%. Тогда

$$EMV_1 = 200\,000 \cdot 0,4 + (-180\,000) \cdot 0,6 = -28\,000 \text{ руб.};$$

$$EMV_2 = 100\,000 \cdot 0,4 + (-20\,000) \cdot 0,6 = 28\,000 \text{ руб.} \rightarrow \text{оптимальная стратегия};$$

$$EMV_3 = 0.$$

Рассмотрим решение при другом соотношении вероятностей, а именно 70-30%:

$$EMV_1 = 200\,000 \cdot 0,7 + (-180\,000) \cdot 0,3 = 86\,000 \text{ руб.} \rightarrow \text{оптимальная стратегия};$$

$$EMV_2 = 100\,000 \cdot 0,7 + (-20\,000) \cdot 0,3 = 64\,000 \text{ руб.};$$

$$EMV_3 = 0.$$

Как видим, результат решения задачи изменился, и нужно выбирать строительство большого завода. Это решение очевидно при снижении степени риска до 30%.

Таким образом, решение в значительной степени зависит от заданного распределения вероятностей. Учитывая то, что оценка (прогноз) вероятностей состояний среды может быть неточной, определенный интерес представляет анализ чувствительности решения к изменению распределения вероятностей.

## 2. Анализ чувствительности решения задачи

Анализ чувствительности – это определение такого уровня вероятности, до которого данная альтернатива является лучшей. Анализ выполним только для случая двух возможных состояний внешней среды и любого числа альтернатив. В этом заключена его ограниченность, так как на практике разнообразие состояний среды может быть намного больше. В целях выполнения анализа чувствительности строятся графики зависимости значений  $EMV$  от распределения вероятностей между состояниями внешней среды.

Построим такие графики для трех альтернатив из рассмотренной выше задачи (пример). Порядок их построения представлен на рис. 7.3. График для варианта «ничего не предпринимать» совпадает с осью вероятностей, так как значение его ординаты на всем интервале изменения вероятностей равно нулю. Из рисунка видно, что, когда вероятность благоприятного состояния внешней среды высока, лучше строить большой завод (первый вариант), при меньшей вероятности благоприятного состояния среды – малый завод (второй вариант), а при высокой вероятности неблагоприятного исхода лучше деньги в проект не вкладывать (третий вариант). Чтобы найти предельные

точки (точки пересечения прямых) следует вывести уравнения прямых и приравнять их друг другу:

$$EMV_1 = 200 - 380 \cdot p_2;$$

$$EMV_2 = 100 - 120 \cdot p_2;$$

$$EMV_3 = 0.$$

Графики прямых пересекаются в точке  $A$ :

$$EMV_1 = EMV_2, \text{ или } 200 - 380 \cdot p_2 = 100 - 120 \cdot p_2, \rightarrow p_2 = 0,38.$$

Графики прямых пересекаются в точке  $B$ :

$$EMV_2 = EMV_3, \text{ или } 100 - 120 \cdot p_2 = 0, p_2 = 0,83.$$

В общем случае некоторые альтернативы при любом разложении вероятностей могут оказаться хуже других. Они должны быть исключены из дальнейшего рассмотрения.

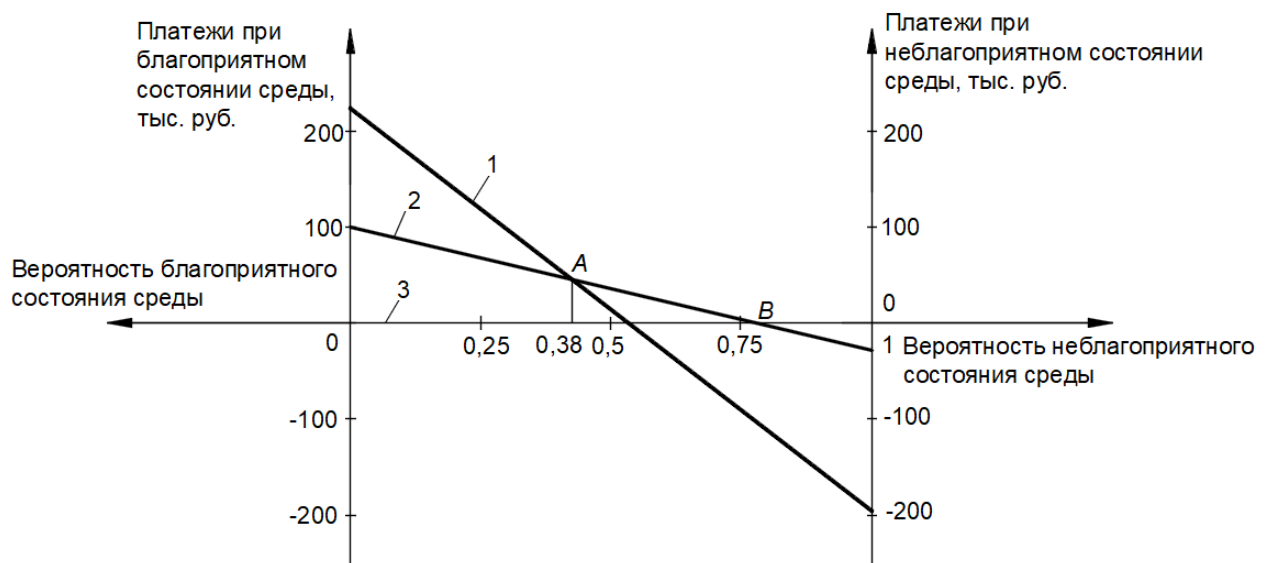


Рисунок 7.3 – График зависимости платежей от распределения вероятностей состояния внешней среды: 1 – вариант 1; 2 – вариант 2; 3 – вариант 3

### 3. Дерево решений задачи

Кроме использования платежной матрицы для решения данного типа задач, как уже указывалось, можно строить дерево решений. Например, для рассматриваемой в примере задачи дерево имеет следующий вид (рис. 7.4).

При построении дерева узлы принятия решений означают выбор альтернатив, который делает менеджер, а узлы состояния внешней среды – возможные ответы среды. Если построение дерева идет слева направо, то расчет и принятие решений – справа налево:

- в узлах состояния внешней среды платежи «сворачиваются» в значения  $EMV$  с соответствующими им весами-вероятностями;
- в узлах принятия решений происходит выбор лучших альтернатив, например, по критерию  $EMV \rightarrow \max$ .

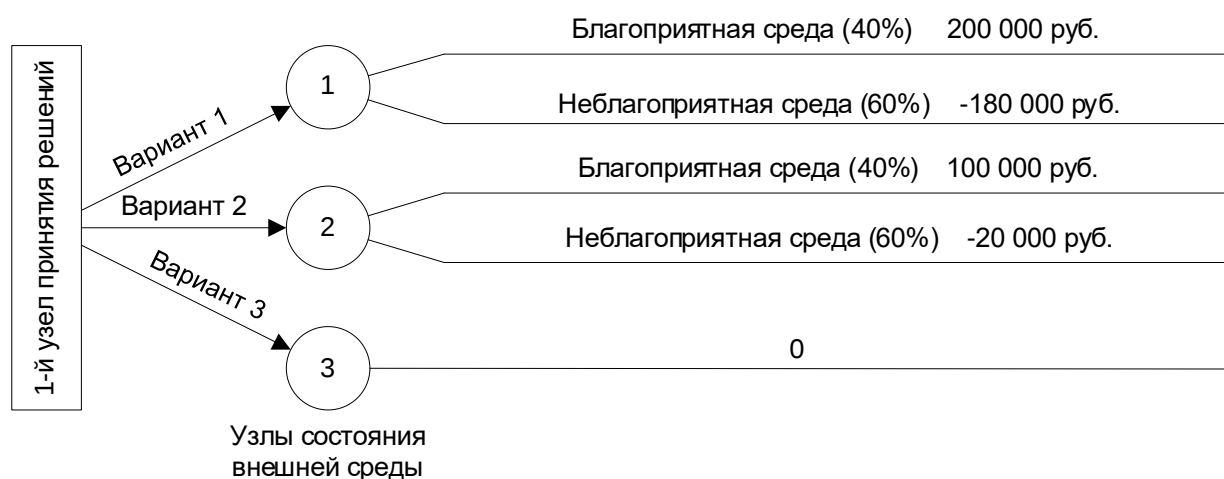


Рисунок 7.4 – Дерево решений

При решении простых задач дерево не дает никаких преимуществ, но для решения многоуровневых задач его преимущества неоспоримы. Дерево, как любое графическое представление, более наглядно, поэтому предпочтительнее в более сложных ситуациях.

Построение дерева рассмотрим также на примере решения задачи тактического планирования. Выделение только двух состояний внешней среды – благоприятного и неблагоприятного – далеко не единственный и не лучший способ оценки внешней среды, который применяется лишь в случаях, когда информация о среде ограничена. Альтернативных вариантов стратегий в общем случае может быть много. И это позволяет уточнить решение задачи.

### Пример 6

Оптовый склад обслуживает автотранспортные предприятия, в том числе отпускает им воздушные фильтры. Статистика уровня продаж: 11 упаковок продаются с вероятностью 45%, 12 упаковок – с вероятностью 35%, 13 упаковок – 20%. Прибыль от реализации одной упаковки – 35 руб. Непроданные упаковки в конце недели уничтожаются, при этом потери составляют 56 руб. с каждой упаковки. Какой недельный запас провизителя является для склада оптимальным?

Отметим, что сумма вероятностей продажи 11, 12 и 13 упаковок равна 100%. Это означает, что никаких других объемов недельных продаж не зарегистрировано и в расчет они не могут быть включены. Рассчитаем платежи:

а) проданы 11 упаковок при запасе в 11 упаковок:  $35 \cdot 11 = 385$  руб.;

б) проданы 11 упаковок при запасе в 12, а одна упаковка уничтожена:  $385 - 56 = 329$  руб.;

в) проданы 12 упаковок (весь запас):  $35 \cdot 12 = 420$  руб., наличие спроса из 13 упаковок здесь ничего не меняет;

г) при запасе в 13 упаковок возможны три варианта: продажа 11 упаковок ( $385 - 56 \cdot 2 = 273$  руб., две упаковки уничтожены), продажа 12 упаковок ( $420 - 56 = 364$  руб., одна упаковка уничтожена), продажа 13 упаковок ( $35 \cdot 13 = 455$  руб.).

Результаты расчета сведены в табл. 7.10. Расчет  $EMV$  показывает, что лучший вариант решения – запастись 11 упаковок. Рассчитаем предельную цену полной информации о продажах (алгоритм ее расчета будет показан в следующем разделе):

$EVPI = 385 \cdot 0,45 + 420 \cdot 0,35 + 455 \cdot 0,20 - 385 = 26,25$  руб. Дерево решений этой задачи имеет следующий вид (рис. 7.5).

Таблица 7.10 – Результаты расчёта запаса

| Запас       | Спрос, руб. |             |             | $EMV$ , руб. |
|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|             | 11 упаковок | 12 упаковок | 13 упаковок |              |
| 11 упаковок | [385]       | 385         | 385         | [385]        |
| 12 упаковок | 329         | [420]       | 420         | 379,05       |
| 13 упаковок | 273         | 364         | [455]       | 341,25       |
| Вероятность | 0,45        | 0,35        | 0,2         |              |

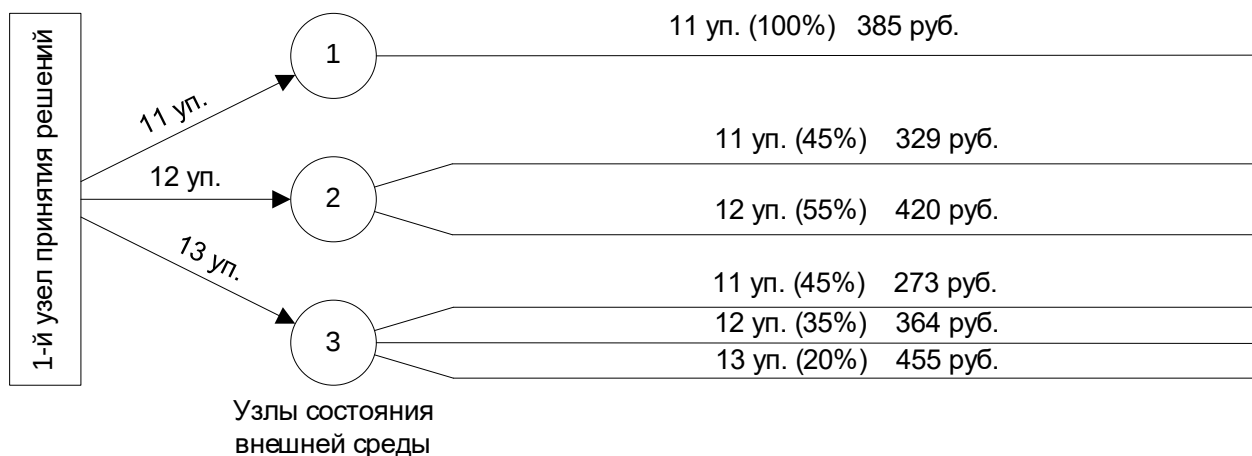


Рисунок 7.5 – Дерево решений

#### 4. Предельная стоимость полной информации

Усложним задачу. Предположим, что на рынке есть фирмы, специализирующиеся на сборе информации о внешней среде, необходимой менеджерам для повышения степени обоснованности принимаемых решений. Какова может быть предельная цена при покупке данной информации? Ответ на этот вопрос дает показатель ожидаемой стоимости полной информации (*expected value of perfect information, EVPI*), который рассчитывается следующим образом:

$$EVPI = \text{Ожидаемый результат при наличии полной информации} - \max EMV.$$

Ожидаемый результат при наличии полной информации о внешней среде равен максимальной выгоде при одном состоянии внешней среды, умноженной на вероятность этого состояния, плюс максимальная выгода при дру-

гом состоянии, умноженная на вероятность этого состояния, плюс... и т. д. Так, за полную информацию в примере 1 можно заплатить 52 тыс. руб., так как  $\max EMV = 28$  тыс., а ожидаемый результат при наличии полной информации равен  $200 \cdot 0,4 + 0 \cdot 0,6 = 80$  тыс. руб.

### Пример 7

Фирма рассматривает возможность производства и реализации микросхем. Для этого либо требуется создание системы комплексной автоматизации CAD/CAM, которая стоит 500 тыс. руб., либо можно нанять и обучить специалистов, что обойдется в 375 тыс. руб. При благоприятном рынке микропроцессоры можно будет реализовать в количестве 25 тыс. ед., а при неблагоприятном – только 8 тыс. ед. Отпускная цена – 100 руб. Себестоимость производства одного микропроцессора в CAD/CAM – 40 руб., при работе людей – 50 руб. Вероятность благоприятного состояния рынка – 40%. Требуется выбрать лучший вариант по критерию *EMV* и определить величину *EVPI*.

В этой задаче наибольший интерес представляет расчет платежей в матрице. Как получены их значения? Доход при ручной работе и благоприятной среде составит:

$$25\,000(100 - 50) - 375\,000 = 1\,250\,000 - 375\,000 = 875\,000 \text{ руб.};$$

Доход при ручной работе и неблагоприятной среде равен:

$$8000(100 - 50) - 375\,000 = 25\,000 \text{ руб.}$$

Доход (убыток) при автоматизации в зависимости от состояния среды (благоприятное или неблагоприятное) соответственно составит:

$$25\,000(100 - 40) - 500\,000 = 1\,000\,000 \text{ руб.};$$

$$8000(100 - 40) - 500\,000 = -20\,000 \text{ руб.}$$

Результаты расчета платежей и значений *EMV* сведены в табл. 7.11.

Расчет *EMV* показывает, что лучшим вариантом является автоматизация. Предельная цена информации равна:

$EVPI = (1\,000\,000 \cdot 0,4 + 25\,000 \cdot 0,6) - 388\,000 = 27\,000$  руб. Строим дерево решений (рис. 7.6).

Благоприятная среда (40%) 1 000 000 руб.

Таблица 7.11 – Результаты расчёта *EMV*

| Стратегии                  | Доход (убыток), руб.              |                                     | <i>EMV</i> , руб. |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
|                            | при благоприятном состоянии среды | при неблагоприятном состоянии среды |                   |
| 1.Создание системы CAD/CAM | [1 000 000]                       | -20 000                             | [388 000]         |
| 2. Ручная работа           | 875 000                           | [25 000]                            | 365 000           |
| 3. Ничего не предпринимать | 0                                 | 0                                   | 0                 |
| Вероятность, %             | 40                                | 60                                  |                   |

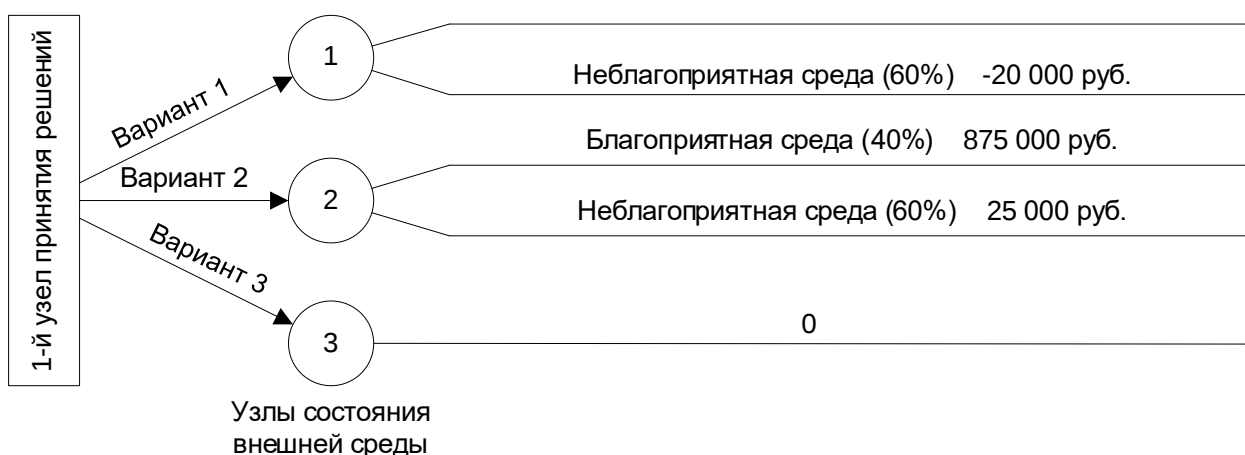


Рисунок 7.6 – Дерево решений

## 5. Многоуровневые задачи принятия решений

Проведем дальнейшее усложнение задачи: рассмотрим принятие решений на нескольких уровнях. Для этого вернемся к данным примера 1 и дополним их.

### Пример 8

Предположим, что компания может произвести дополнительные исследования стоимостью 10 000 руб. в целях повышения конкурентоспособности продукции. При этом вероятность удачного исхода исследований, по оценкам экспертов, составляет 45%, в этом случае вероятность благоприятной для компании внешней среды увеличится до 78%. Вероятность отрицательных результатов исследования – 55%, в этом случае благоприятная для компании среда возникнет по оценкам только в 27% случаев. Требуется принять решение, проводить ли дополнительные исследования и строить ли завод, а если строить, то какой.

Отметим, что здесь решения должны приниматься дважды, причем решение о принятии того или иного варианта строительства должно быть принято на основе уже известных к тому времени результатов дополнительных исследований. Это определяет последовательность решения задачи, в частности, последовательность узлов принятия решений в дереве для этой задачи. Построим дерево решений и рассчитаем на его основе значения *EMV* (рис. 7.7). Расчет ведем справа налево – от известного к искомому (тыс. руб.):

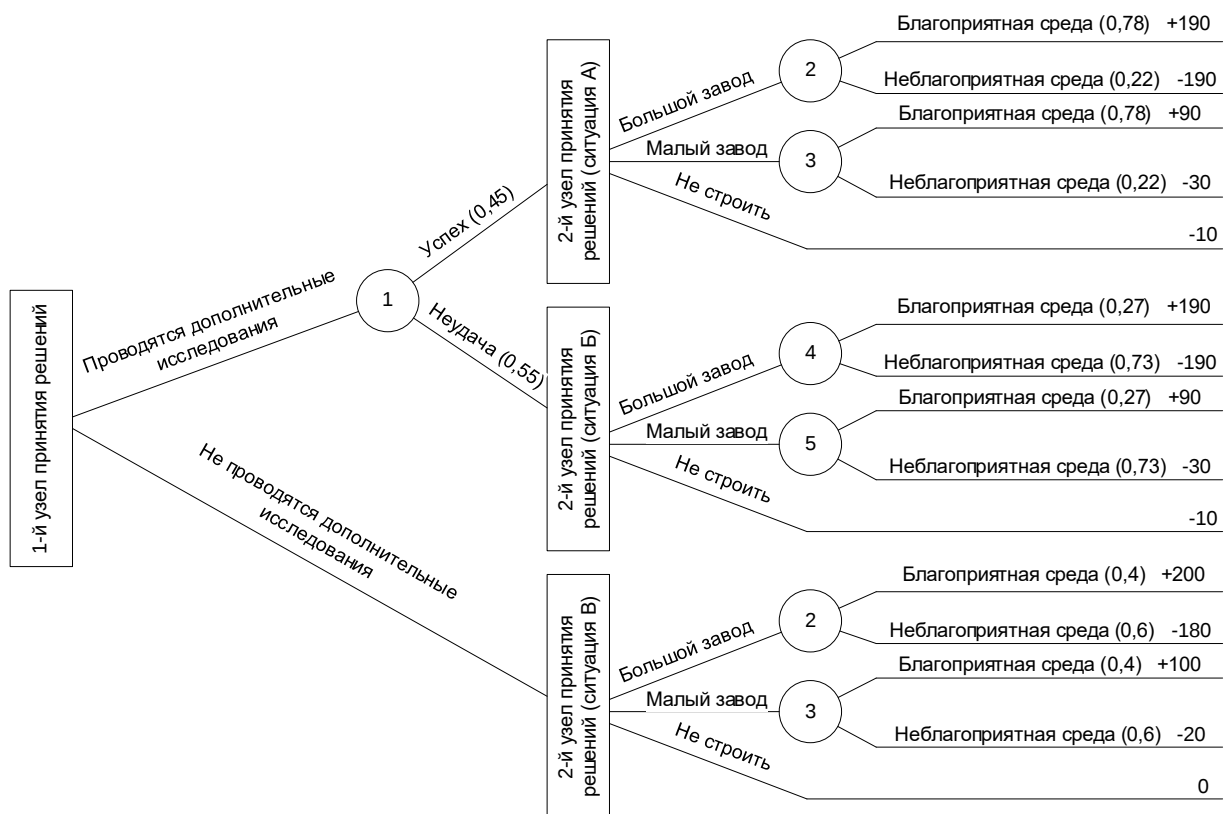


Рисунок 7.7 – Дерево решений к примеру 8

*Ситуация А*

$$EMV_2 = 190 \cdot 0,78 - 190 \cdot 0,22 = 106,4 \rightarrow \text{Оптимальный вариант};$$

$$EMV_3 = 90 \cdot 0,78 - 30 \cdot 0,22 = 63,6.$$

В ситуации А оптимальным вариантом было бы строительство большого завода, так как  $106,4 > 63,6 > -10$ .

$$EMV_4 = 190 \cdot 0,27 - 190 \cdot 0,73 = -87,4;$$

*Ситуация Б*

$$EMV_5 = 90 \cdot 0,27 - 30 \cdot 0,73 = 2,4 \rightarrow \text{Оптимальный вариант}.$$

В ситуации Б оптимальный вариант – строительство малого завода, поскольку  $2,4 > -10 > -87,4$ .

$$EMV_6 = 200 \cdot 0,4 - 180 \cdot 0,6 = -28.$$

*Ситуация В*

$$EMV_7 = 100 \cdot 0,4 - 20 \cdot 0,6 = 28 \rightarrow \text{Оптимальный вариант}.$$

В ситуации В оптимальный вариант – строительство также малого завода, так как  $28 > -28 > 0$ .

Надо ли проводить дополнительные исследования? Проведем расчет:

$EMV_1 = 0,45 \cdot 106,4 + 0,55 \cdot 2,4 = 49,2$ , что превышает  $EMV_7$  – лучший результат для варианта «не проводить исследования».

Вывод. Дополнительные исследования нужно проводить, и при их положительном исходе следует строить большой завод, ожидая доход 106,4 тыс. руб., а при отрицательном исходе – малый завод, ожидая доход 2,4 тыс. руб.

## Контрольные задания

1. Для перехода на производство новой продукции предприятие может закупить оборудование трех различных отечественных производителей. Все оборудование изготовлено на основе новых технологий, поэтому качество его работы не предсказуемо (хорошая и плохая работа равновероятны). Результаты его работы представлены в платежной матрице (табл. 6.12).

Таблица 6.12 – Результаты работы приобретённого оборудования

| Вариант приобретения оборудования | Доход (убыток), руб.            |                                |
|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|                                   | при хорошей работе оборудования | при плохой работе оборудования |
| Вариант I                         | 40000                           | -10000                         |
| Вариант II                        | 30000                           | -3000                          |
| Вариант III                       | 10000                           | -2000                          |
| Не приобретать                    | 0                               | 0                              |

Выберите лучший вариант по критериям *Maximax*, *Maximin*, равносному, *EMV*, если известна вероятность хорошей и плохой работы – соответственно 25 и 75%. Проведите анализ чувствительности решения задачи. Определите предельную стоимость точной информации – *EVPI*. В каких условиях принимаются решения?

2. Фирма решает, строить или нет новый цех на основе новой рискованной технологии. Если новый цех будет работать хорошо, фирма получит доход 200 000 руб., если цех работать не будет, то убыток составит 150 000 руб.; по оценкам, вероятность успеха равна 40%. Фирма может произвести дополнительные исследования, направленные на совершенствование новой технологии, затратив на это 15 000 руб., причем успех этих исследований равновероятен с неудачей. Если исследования будут успешными, вероятность того, что цех заработает, возрастет до 90%, если нет – снизится до 20%. Помогите фирме принять верное решение.

3. Швейная фабрика г. Рязани может закупить у одного из французских кутюрье его весенне-летнюю коллекцию женской одежды за \$20 000. По оценкам местных специалистов, постановка ее на производство позволит фабрике получить дополнительную прибыль \$25 000 с вероятностью 50% или \$45 000 с вероятностью 30%. В случае, если местные модницы не оценят французскую коллекцию по достоинству и фабрика не получит дополнительной прибыли, можно будет оперативно вернуться к коллекции, разработанной своими силами, затратив на перестройку производства с французской коллекции на рязанскую \$6000. Вероятность успеха при этом оценивается в 50%, а сам успех – в дополнительную прибыль \$ 10 000. Обратиться к собственным модельерам можно и сразу, не поддаваясь французским соблазнам, потратив на это всего \$500. Помогите руководству фабрики принять верное решение. Ответ обоснуйте путем построения дерева решений.

## 8. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НЕПОТОЧНЫМИ МЕТОДАМИ

### Практическое занятие №9 «Объемные проектные расчеты создания участков»

Объемные расчеты участков (цехов) базируются на закреплении за ними предметов производства и включают определение ресурсов, необходимых для выполнения производственной программы. Как правило, это ключевые ресурсы: количество оборудования (рабочих мест) и численность рабочих. В свою очередь, выполненные объемные расчеты инициируют решение задачи размещения оборудования (рабочих мест) на имеющихся производственных площадях, т. е. задачи планировки участка (цеха). Очевидно, что все расчеты должны быть охвачены обратной связью для контроля степени загрузки оборудования и рабочих и степени использования производственных площадей предприятия.

По сути, объемные расчеты являются частью расчета производственной мощности по основным производственным ресурсам предприятия и требуют постоянной балансировки с производственной программой.

Необходимое число одинаковых рабочих мест или количество установленного на них однотипного оборудования  $q$  рассчитывается по формуле:

$$q_p = \frac{T_{пл}}{F},$$

где  $T_{пл}$  – время работы данного типа оборудования, необходимое для изготовления заданного на период объема продукции;

$F$  – фонд времени работы единицы оборудования за период расчета.

При выполнении объемных расчетов производственных единиц, например цехов или участков, различают четыре фонда времени.

1. Календарный фонд времени, определенный как произведение 24 часов в сутки на число календарных дней в расчетном периоде.
2. Номинальный фонд времени в отличие от календарного фонда «очищенный» от нерабочих дней, смен, часов:

$$F_n = D_p T_{см} K_{см} - T_{\Sigma},$$

где  $D_p$  – число рабочих дней в расчетном периоде;

$T_{см}$  – продолжительность рабочей смены, часов;

$K_{см}$  – коэффициент сменности работы;

$T_{\Sigma}$  – суммарное за период сокращение рабочего времени в предпраздничные дни, часов.

3. Эффективный фонд времени в отличие от номинального фонда «очищенный» от времени планового технического обслуживания оборудования:

$$F_{эф} = F_n - T_{пр} = F_n (1 - p_{пр}/100),$$

где  $T_{\text{пр}}$  – время, отводимое в расчетном периоде на плановое техническое обслуживание оборудования, часов;

$p_{\text{пр}}$  – процент времени планового технического обслуживания по отношению к номинальному фонду времени.

4. Действительный фонд времени, в течение которого оборудование реально работает на выполнение производственной программы:

$$F_{\text{д}} = F_{\text{эф}} K_3,$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки во времени, учитывающий потери времени (простои) по техническим и организационным причинам.

Календарный фонд, как правило, не может служить основой для выполнения объемных расчетов, так как редкое промышленное предприятие может работать непрерывно без остановок в течение достаточно длительного периода времени. Номинальный фонд используется обычно в расчетах поточных линий, где плановое техническое обслуживание оборудования выполняется в нерабочее время, а потери по организационным причинам сведены к минимуму ввиду высокого уровня организации производства. Эффективный фонд чаще всего используется в проектных расчетах участков и цехов, а учет действительного фонда времени работы позволяет не только планировать, но и контролировать загрузку оборудования. Размеры эффективного и действительного фондов, как видим, самым существенным образом зависят от технического состояния оборудования и потерь времени на его ремонт и техническое обслуживание. Таким образом, эти фонды напрямую связаны с показателями надежности оборудования.

Важнейшими характеристиками надежности оборудования являются:

- 1) безотказность;
- 2) ремонтпригодность;
- 3) ресурс работы отдельных элементов оборудования;
- 4) срок службы оборудования в целом.

Безотказность характеризуется показателем среднего времени наработки на отказ  $\tau_{\text{нр}}$ :

$$\tau_{\text{нр}} = \frac{\sum T_{\text{нр}}}{n_{\text{отк}}},$$

где  $\sum T_{\text{нр}}$  – суммарное время работы оборудования за период между двумя смежными плановыми ремонтами;

$n_{\text{отк}}$  – число отказов за этот же период.

Ремонтпригодность характеризуется показателем среднего времени восстановления оборудования после аварийного отказа  $\tau_{\text{в}}$ :

$$\tau_{\text{в}} = \frac{\sum T_{\text{в}}}{n_{\text{отк}}}$$

где  $\Sigma T_v$  – суммарное время восстановления (ремонта) оборудования после аварийных остановок за период между двумя смежными плановыми ремонтами.

Показателем, интегрирующим оценки безотказности и ремонтпригодности, является коэффициент готовности  $K_r$ :

$$K_r = \frac{\tau_{np}}{\tau_{np} + \tau_v} = \frac{\Sigma T_{np}}{\Sigma T_{np} + \Sigma T_v}.$$

Коэффициент готовности показывает вероятность того, что техническая система будет работоспособна в произвольно выбранный момент времени между двумя соседними плановыми ремонтами. В принятых ранее обозначениях  $\Sigma T_{np}$  – это действительный фонд времени, а  $\Sigma T_{np} + \Sigma T_v$  – эффективный фонд без учета потерь по организационным причинам. Тогда коэффициент готовности представляет собой «техническую составляющую» коэффициента загрузки оборудования во времени:

$$K_z = K_r \cdot K_{орг};$$
$$F_d = F_{эф} \cdot K_r \cdot K_{орг},$$

где  $K_{орг}$  – «организационная составляющая» коэффициента загрузки, или коэффициент учета организационных потерь.

Плановое значение коэффициента загрузки оборудования колеблется для различных условий от 0,6 до 0,95, коэффициент готовности составляет 0,95...0,98. Это означает, что основные потери происходят именно по организационным причинам. Например, время мелкого ремонта станка может составить 15 мин, а время ожидания специалиста, который должен устранить отказ, и поиска запасных частей, необходимых для этого, – 2 ч. В то же время отметим, что самая весомая составляющая потерь по организационным причинам – это недостаточная загрузка оборудования выполнением производственной программы или его простои ввиду некачественного составления расписания работы.

Ресурс работы отдельных элементов определяет периодичность и состав плановых ремонтов (капитальных, средних и текущих), или, Другими словами, структуру ремонтного цикла. Зная последнюю и нормативы затрат времени на все виды ремонтов, можно легко рассчитать время планового технического обслуживания (плановых ремонтов) оборудования в расчетном периоде. Его значение используется при расчетах эффективного времени работы. Интервал времени между двумя смежными капитальными ремонтами – длительность ремонтного цикла  $T_{пр}$ . Срок службы оборудования в целом учитывается при определении стратегии амортизации оборудования и тем самым влияет на величину амортизационных отчислений.

Расчет численности рабочих выполняется с учетом разделения труда. Конкретные формы разделения труда на предприятии определяются структу-

рой производственного процесса и выражаются в распределении работ и расстановке рабочих. Разделение труда рабочих идет по трем направлениям:

- 1) по характеру участия рабочих в производственном процессе они делятся на основных и вспомогательных;
- 2) по технологической характеристике выполняемых работ рабочие делятся по профессиям и специальностям;
- 3) по сложности выполняемых работ рабочие подразделяются по уровням их квалификации (по разрядам).

Основные принципы распределения работ:

- а) квалификация рабочего должна соответствовать сложности выполняемых работ;
- б) необходимо обеспечивать максимальную однородность выполняемых рабочих работ, соответствующих его профессиональной подготовке;
- в) для повышения специализации следует разделять функции основных и вспомогательных рабочих.
- г) следует учитывать, какие операции может выполнять один рабочий, а какие целесообразнее поручать бригаде. Основой создания бригад является общность выполняемых работ, ответственности за их выполнение и стимулирования труда.

Очевидно, что в каждом конкретном случае необходимо находить оптимальный уровень разделения труда, обеспечивающий его максимальную производительность.

Различают расчеты списочной и явочной численности основных производственных рабочих. Среднегодовая списочная численность  $Ч_{спj}$  показывает, сколько рабочих в среднем в течение года должны находиться в штате участка (цеха) для выполнения установленного объема работ, однородных по профессионально-квалификационным характеристикам. Она рассчитывается следующим образом:

$$Ч_{спj} = \frac{T_{pj}}{F_{эф.р.j}} = \frac{T_{pj}}{F_{н.р.j} \left(1 - \frac{p_{пр}}{100}\right)}, j = 1, \dots, K_p,$$

где  $T_{pj}$  – годовая трудоемкость работ участка (цеха) в разрезе  $j$ -й профессионально-квалификационной группы (чаще – операции);

$K_p$  – количество профессионально-квалификационных групп на участке (в цехе);

$F_{эф.р.j}$  – эффективный годовой фонд времени одного рабочего;

$F_{н.р.j}$  – годовой номинальный фонд времени рабочего;

$p_{пр}$  – процент времени невыходов на работу по отношению к номинальному фонду времени.

Годовая трудоемкость работ в объемных расчетах обычно определяется путем умножения годовой станкоемкости программы  $T_{пл}$  на коэффициент многостаночного обслуживания  $K_{мо}$ , показывающий уровень занятости рабочих обслуживанием оборудования:

$K_{\text{мо}} = 1$  при обслуживании оборудования с ручным управлением;  
 $K_{\text{мо}} < 1$  при обслуживании полуавтоматического оборудования;  
 $K_{\text{мо}} > 1$  в случае бригадного обслуживания оборудования.

Очевидно, что при обслуживании оборудования с ручным управлением трудоемкость и станкоемкость практически совпадают, а при работе на полуавтоматическом оборудовании реальная трудоемкость уменьшается за счет организации многостаночного обслуживания. Норма обслуживания, т. е. число станков, обслуживаемых одним рабочим, и коэффициент многостаночного обслуживания связаны соотношением:

$$K_{\text{мо}} = \frac{1}{h_{\text{мо}}},$$

где  $h_{\text{мо}}$  – норма многостаночного обслуживания оборудования.

Годовой номинальный фонд времени одного рабочего практически совпадает с номинальным фондом работы оборудования в односменном режиме. Отличия могут наблюдаться только в случае обслуживания рабочих мест с тяжелыми, вредными и опасными для жизни условиями труда, где устанавливается его особый режим. Годовой эффективный фонд несколько меньше, так как учитывает тот факт, что часть рабочих может отсутствовать на работе по следующим причинам:

- а) очередные отпуска;
- б) временная нетрудоспособность;
- в) отпуска за свой счет;
- г) учебные отпуска;
- д) отпуска по беременности и родам;
- е) выполнение государственных обязанностей;
- ж) нахождение в командировках, на сельскохозяйственных работах и пр.

В совокупности эти причины определяют значение  $p_{\text{пр}}$ .

Явочная численность  $\text{Ч}_{\text{яв}j}$  показывает, сколько рабочих должны каждый день являться на работу, чтобы обслуживать установленное оборудование в режиме, необходимом для выполнения производственной программы. В объемных расчетах явочная численность должна быть меньше списочной на ту часть рабочих, которая отсутствует на работе. Она определяется по формуле:

$$\text{Ч}_{\text{яв}j} = \frac{T_{pj}}{F_{\text{н.р.}j}} = \frac{T_{pj}\left(1 - \frac{p_{\text{пр}}}{100}\right)}{F_{\text{эф.р.}j}} = \text{Ч}_{\text{сп}j} \left(1 - \frac{p_{\text{пр}}}{100}\right), j = 1, \dots, K_{\text{р}}.$$

Очевидно, что явочная численность постоянно меняется. На нее оказывают влияние такие факторы, как характер и объем работ, выполняемых каждую смену (т. е. спрос), а также эпидемии гриппа, экзаменационные сессии в учебных заведениях, сезоны отпусков, сельскохозяйственных работ и пр. Поэтому расчетная величина явочной численности лишь в среднем отражает реальную величину этого параметра. Реальная потребная явочная численность может быть только целым числом. В каждом конкретном периоде она может

быть определена на основе задействованного для выполнения производственной программы числа рабочих мест и установленных значений коэффициентов многостаночного и бригадного обслуживания. Ясно, что согласование ее с фактической явкой рабочих на работу требует от менеджера искусства руководства. Рассмотрим методику выполнения объемных расчетов на примере.

### Пример 1

На предметно-замкнутом участке обработки деталей типа тел вращения выполняются пять технологических операций, указанных в табл. 8.1. Для выполнения каждой операции фактически организовано несколько рабочих мест ( $q_{фj}$ ). Известны значения среднего по операции процента выполнения норм выработки рабочими ( $p_{вj}$ ).

Таблица 8.1 – Технологические операции, выполняемые на участке

| Номер операции | Наименование операции  | $q_{фj}$ | $p_{вj}$ |
|----------------|------------------------|----------|----------|
| 1              | Фрезерно-центровальная | 1        | 108      |
| 2              | Черновая токарная      | 2        | 103      |
| 3              | Чистовая токарная      | 2        | 107      |
| 4              | Фрезерная              | 2        | 105      |
| 5              | Круглошлифовальная     | 3        | 101      |

В планируемом квартале за ПЗУ закрепляется обработка пяти типоразмеров деталей, имеющих сходные технологические маршруты, соответствующие специализации и планировке участка. Нормы штучно-калькуляционного времени выполнения детали-операций ( $t_{шк}$ ) и ориентировочные размеры партий запуска деталей в обработку ( $n$ ) заданы в табл. 8.2.

Таблица 8.2 – Размеры партий запуска деталей в обработку

| Деталь | Норма времени по операциям,<br>нормо-часов / шт. |     |     |     |     | Партия<br>запуска,<br>шт. |
|--------|--------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------------|
|        | 1                                                | 2   | 3   | 4   | 5   |                           |
| A      | 0,1                                              | 0,2 | -   | 0,1 | 0,2 | 200                       |
| B      | 0,2                                              | 0,6 | 0,9 | -   | -   | 40                        |
| C      | 0,4                                              | 0,3 | 0,8 | 0,2 | 0,1 | 60                        |
| D      | 0,2                                              | 0,9 | -   | 0,6 | 0,5 | 10                        |
| E      | 0,1                                              | 0,3 | 0,3 | -   | 0,4 | 150                       |

Участок работает в одну смену. Планово-предупредительного ремонта оборудования в планируемом квартале не предусмотрено. Число рабочих дней – 60. Плановая загрузка оборудования – 80%. Требуется определить:

- 1) число рабочих мест на каждой операции, которое потребуется задействовать для выполнения квартальной производственной программы участка;
- 2) реальную загрузку каждого из них, если в плановом периоде осуществляется шесть запусков деталей в обработку;

- 3) совокупную длительность цикла обработки всех партий в течение одного запуска;
- 4) среднесписочную и явочную численность основных рабочих участка, если условия труда на рабочих местах являются нормальными, процент потерь рабочего времени планируется в расчетном квартале на уровне 14,5%, а на второй и третьей операциях может быть организовано многостаночное обслуживание с  $h_{\text{мо}} = 3$ .

#### Решение

Число рабочих мест, необходимое для выполнения производственной программы ПЗУ, рассчитаем так:

$$q_{pj} = \frac{T_{\text{пл}j}}{F_j}, j = 1, \dots, K_{\text{оп}},$$

где  $T_{\text{пл}j}$  – станкоемкость квартальной производственной программы на операции  $j$ ;

$F_j$  – квартальный фонд времени единицы оборудования (может быть различным по операциям и даже по рабочим местам).

Причем параметр  $T_{\text{пл}j}$  находится из соотношения:

$$T_{\text{пл}j} = \frac{100}{p_{vj}} \sum_{i=1}^{K_3} t_{\text{шк}ij} N_{vi}, j = 1, \dots, K_{\text{оп}},$$

где  $N_{vi}$  – квартальная производственная программа деталей  $i$ -го типоразмера.

Штучно-калькуляционное время зависит от размера партии деталей и определяется по формуле:

$$t_{\text{шк}} = t_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n},$$

где  $T_{\text{пз}}$  – подготовительно-заключительное время на партию деталей.

$$\chi_{\text{яв}j} = \frac{T_{pj}}{F_{\text{н.р.}j}} = \frac{T_{pj} \left(1 - \frac{p_{\text{пр}}}{100}\right)}{F_{\text{эф.р.}j}} = \chi_{\text{сп}j} \left(1 - \frac{p_{\text{пр}}}{100}\right), j = 1, \dots, K_{\text{р}}.$$

В момент расчета потребного количества оборудования размер партии обычно бывает не известен. Штучно-калькуляционное время тогда рассчитывается на основе процента времени на подготовительно-заключительные работы по отношению к штучному  $P_{\text{пз}}$ , или

$$t_{\text{шк}} = t_{\text{шт}} \left(1 + \frac{P_{\text{пз}}}{100}\right).$$

Величина  $P_{\text{пз}}$  может быть принята в среднем одинаковой для всех детали-операций, выполняемых на данном оборудовании. Квартальная программа по каждой детали рассчитывается исходя из размера партии запуска и количества запусков за квартал и составляет:

$$N_{B1} = 200 \cdot 6 = 1200 \text{ шт.}; N_{B2} = 40 \cdot 6 = 240 \text{ шт.}; N_{B3} = 60 \cdot 6 = 360 \text{ шт.};$$

$$N_{B4} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ шт.}; N_{B5} = 150 \cdot 6 = 900 \text{ шт.}$$

Расчет значений  $T_{плj}$  сведен в табл. 8.3.

Таблица 8.3 – Результаты расчёта квартальной станкоёмкости

| Деталь                   | Квартальная станкоёмкость по операциям |       |       |       |       |
|--------------------------|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                          | 1                                      | 2     | 3     | 4     | 5     |
| <i>A</i>                 | 120                                    | 240   | 0     | 120   | 240   |
| <i>B</i>                 | 48                                     | 144   | 216   | 0     | 0     |
| <i>C</i>                 | 144                                    | 108   | 288   | 72    | 36    |
| <i>D</i>                 | 12                                     | 54    | 0     | 36    | 30    |
| <i>E</i>                 | 90                                     | 270   | 270   | 0     | 360   |
| $\Sigma t_{шкij}/N_{Bi}$ | 414                                    | 816   | 774   | 228   | 666   |
| $T_{плj}$                | 383,3                                  | 792,2 | 723,4 | 217,1 | 659,4 |

В дальнейших расчетах используется действительный фонд времени за квартал с учетом того, что плановый ремонт оборудования по условию не предусмотрен. Этот фонд одинаков для всех рабочих мест и составляет:

$$F = 60 \cdot 8 \cdot 0,8 = 384 \text{ ч.}$$

Расчетное число рабочих мест тогда определяется следующим образом:

$$q_{p1} = \frac{383,3}{384} = 1,00; q_{p2} = \frac{792,2}{384} = 2,06; q_{p3} = \frac{723,4}{384} = 1,88;$$

$$q_{p4} = \frac{217,1}{384} = 0,56; q_{p5} = \frac{659,4}{384} = 1,72.$$

Поскольку число рабочих мест может быть только целым числом, расчетные значения округляются до ближайшего большего целого числа. Таким образом, мы рассчитаем принятое для выполнения производственной программы количество оборудования  $q_{прj} = (1, 3, 2, 1, 2)$ .

Как видно, оно отличается от фактически установленного на ПЗУ. Можно оценить загрузку фактически установленного на участке оборудования:

$$K_{3j} = K_{3j}^{пл} \cdot \frac{q_{pj}}{q_{фj}}, j = 1, \dots, K_{оп}.$$

$$K_{31} = 0,8; K_{32} = 0,8 \cdot \frac{2,06}{2} = 0,824; K_{33} = 0,8 \cdot \frac{1,88}{2} = 0,752;$$

$$K_{34} = 0,8 \cdot \frac{0,56}{2} = 0,224; K_{35} = 0,8 \cdot \frac{1,72}{3} = 0,459.$$

Анализ показывает, что на второй операции оборудование загружено выше планового уровня. Это допустимо только в случае указания конкретных организационно-технических мер, обеспечивающих улучшение показателей его использования. Пусть  $q_{пр2} = 2$ . На четвертой и пятой операциях загрузка оборудования явно недостаточна. Это позволит использовать по од-

ному рабочему месту на этих операциях для выполнения других работ. Тогда реальная загрузка принятого к работе оборудования на этих операциях составит:

$$K_{3j} = K_{3j}^{\text{пл}} \cdot \frac{q_{pj}}{q_{\text{пр}j}}, j = 1, \dots, K_{\text{оп.}}$$

$$K_{34} = 0,8 \cdot \frac{0,56}{1} = 0,448; K_{35} = 0,8 \cdot \frac{1,72}{2} = 0,688.$$

Расчеты показывают, что четвертая операция остается существенно недогруженной. Это позволяет закрепить за ПЗУ дополнительные фрезерные работы объемом  $(0,8 - 0,448) \cdot 60 \cdot 8 = 169$  часов за квартал.

Для расчета потребной на квартал численности основных рабочих необходимо определить трудоемкость работ и фонды времени одного рабочего. Эффективный фонд, исходя из условий задачи, равен номинальному фонду времени работы оборудования, скорректированному на невыходы на работу, т.е.  $F_{\text{эф.р}} = 480 \cdot (1 - 14,5/100) = 410,4$  ч. Трудоемкость может быть определена на основании данных табл. 8.3:

- по фрезерным работам –  $383,3 + 217,1 = 600,4$  ч;
- по токарным работам –  $(792,2 + 723,4) \cdot 0,33 = 500,1$  ч;
- по шлифовальным работам –  $659,4$  ч,

где  $0,33$  – коэффициент многостаночного обслуживания на второй и третьей операциях ( $1/3 = 0,33$ ).

Тогда среднесписочная численность основных рабочих будет равна:

- на фрезерных операциях –  $600,4/410,4 = 1,46$  чел.;
- на токарных операциях –  $500,1/410,4 = 1,22$  чел.;
- на шлифовальных операциях –  $659,4/410,4 = 1,61$  чел.

Расчетные значения явочной численности по операциям составят:

- на фрезерных операциях –  $1,46 (1 - 14,5/100) = 1,25$  чел.;
- на токарных операциях –  $1,22 \cdot 0,855 = 1,04$  чел.;
- на шлифовальных операциях –  $1,61 \cdot 0,855 = 1,38$  чел.

С учетом округлений численность фрезеровщиков должна составить 2 чел., численность токарей – 1 чел., число шлифовщиков – 2 чел. Если удастся совместить профессии, например, фрезеровщика и шлифовщика, то общую явочную численность можно сократить до 4 чел.

### **Практическое занятие №10 «Методы расчета длительности цикла обработки партий деталей»**

Участки создаются на основе использования последовательного движения партии предметов производства по операциям (рабочим местам). Если на участке в расчетном периоде должна быть изготовлена не одна, а несколько партий изделий, то тогда партии будут обрабатываться параллельно друг другу (рис. 8.1). Очевидно, что наложение различного по длительности времени обработки партий на операциях в общем случае будет приводить к воз-

никновению простоев рабочих мест или, наоборот, - пролеживания партий перед началом их обработки ввиду занятости рабочих мест обработкой предыдущих партий. Суммарное время обработки партий изделий на ПЗУ, или так называемая совокупная длительность цикла  $T_{\text{ц}}$ , зависит, таким образом, от времени простоев и пролеживания и может быть определена путем построения графической либо аналитической модели процесса обработки. Из приведенных выше рассуждений следует, что:

- а) в общем случае невозможно довести загрузку всех рабочих мест на ПЗУ до 100%;
- б) коэффициенты загрузки рабочих мест зависят от организации процесса обработки партий на ПЗУ.

Исходные данные, используемые как для аналитического, так и для графического расчета  $T_{\text{ц}}$ , сводятся в матрицу длительностей обработки партий деталей на операциях, т. е. в матрицу следующего вида:

$$|T_{ij}|_{i=1...K_d}^{j=1...K_{\text{оп}}} = \left| \frac{100 \cdot t_{\text{шк}ij} \cdot n_i}{q_{\text{пр}j} \cdot p_{\text{в}j}} \right|_{i=1...K_d}^{j=1...K_{\text{оп}}}.$$

Рассмотрим сначала аналитический метод расчета. Он называется еще цепным методом.

*Шаг 1.* Строки исходной матрицы расставляются в порядке запуска соответствующих им партий в обработку.

*Шаг 2.* Строится матрица оценок  $|\tau_{ij}|_{i=1...K_d}^{j=1...K_{\text{оп}}}$  той же размерности, что и исходная, где номера  $i$  соответствуют новой нумерации строк; строится она по следующим правилам:

$\tau_{11} = t_{11} \cdot n_1$  (первый элемент);

$\tau_{ij} = t_{ij-1} + t_{ij} \cdot n_i; j = 2, \dots, K_{\text{оп}}$  (первая строка, начиная со второго элемента);

$\tau_{i1} = t_{i-11} + t_{i1} \cdot n_i; i = 2, \dots, K_d$  (первый столбец, начиная со второго элемента);

$\tau_{ij} = \max\{t_{i-1j}; t_{ij-1}\} + t_{ij} \cdot n_i; i = 2, \dots, K_d; j = 2, \dots, K_{\text{оп}}$  (все остальные элементы).

## Пример 2

Используя данные примера 1, построим исходную матрицу для определения совокупной длительности цикла обработки партий. Расчет ее элементов показан на примере  $T_{11}$  и  $T_{55}$ :

$$T_{11} = \frac{0,1 \cdot 200}{1,08 \cdot 1} = 18,52 \text{ ч.};$$

$$T_{55} = \frac{0,4 \cdot 150}{1,01 \cdot 2} = 29,7 \text{ ч.}$$

Полученная матрица приведена в табл. 8.4.

Таблица 8.4 – Результаты расчёта длительности обработки партии деталей

| Деталь   | Операции |       |       |       |      |
|----------|----------|-------|-------|-------|------|
|          | 1        | 2     | 3     | 4     | 5    |
| <i>A</i> | 18,52    | 19,42 | 0     | 19,05 | 19,8 |
| <i>B</i> | 7,41     | 11,65 | 16,82 | 0     | 0    |
| <i>C</i> | 22,22    | 8,74  | 22,42 | 11,43 | 2,97 |
| <i>D</i> | 2,77     | 6,55  | 0     | 8,57  | 3,71 |
| <i>E</i> | 13,88    | 21,84 | 21,03 | 0     | 29,7 |

Расчет  $T_{\text{сц}}$  цепным методом для последовательности *D-B-E-A-C* показан в табл. 8.5. Здесь каждая клетка матрицы имеет структуру  $T_{ij} / t_{ij}$ . Для упрощения расчетов значения  $T_{ij}$  округлены до ближайшего большего целого числа. Для последовательности *E-A-C-B-D* расчет  $T_{\text{сц}}$  выполнен путем построения графической модели процесса обработки партий деталей (рис. 8.1). Отсюда  $T_{\text{сц}} = 122$  ч.

Таблица 8.5 – Совокупная длительность цикла

| Деталь   | Операции |       |       |        |        |
|----------|----------|-------|-------|--------|--------|
|          | 1        | 2     | 3     | 4      | 5      |
| <i>D</i> | 3/3      | 7/10  | 0/10  | 9/19   | 4/23   |
| <i>B</i> | 8/11     | 12/23 | 17/40 | 0/40   | 0/40   |
| <i>E</i> | 14/25    | 22/47 | 22/69 | 0/69   | 30/99  |
| <i>A</i> | 19/44    | 20/67 | 0/69  | 20/89  | 20/119 |
| <i>C</i> | 23/67    | 9/76  | 23/99 | 12/111 | 3/122  |

Расчеты дают разное совокупное время цикла для разной последовательности запуска партий деталей в обработку. Действительно, при заданном времени выполнения детали-операций, принятом числе рабочих мест, известных размерах партий запуска, установленных сходных технологических маршрутах и выполненном закреплении операций за рабочими местами совокупная длительность цикла обработки может зависеть лишь от такого фактора, как порядок запуска партий в обработку. Для повышения уровня точности и ритмичности работы участка необходимо соблюдать одинаковую последовательность обработки деталей на всех рабочих местах. Число вариантов последовательности запуска и обработки предметов на рабочих местах может быть большим и рассчитывается таким образом:

$$I_3 = K_d! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot K_d.$$

где  $K_d$  – число наименований предметов производства, закрепленных за участком.

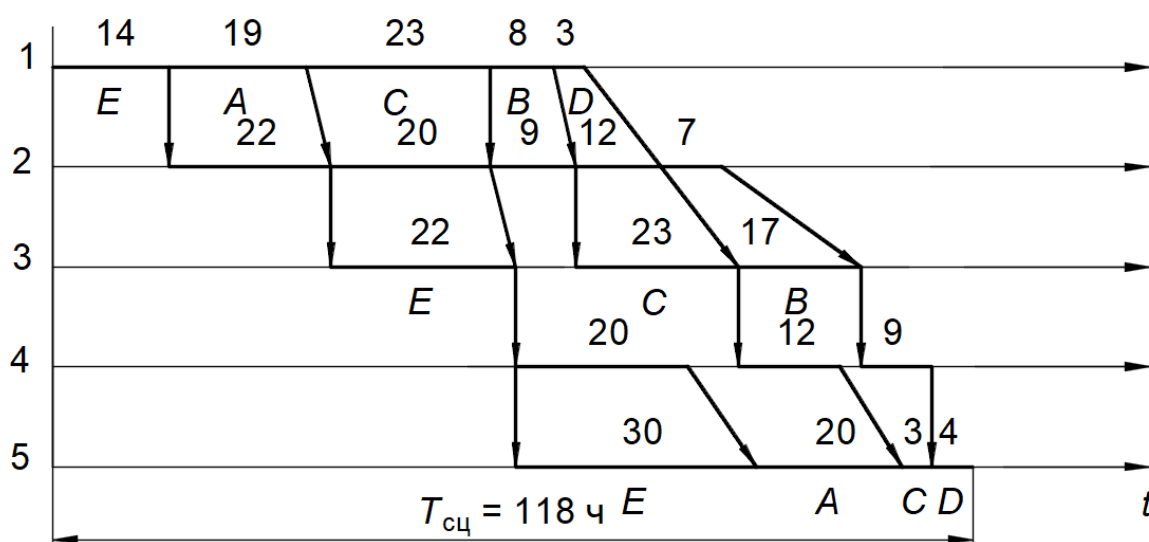


Рисунок 8.1 – График обработки партий деталей на ПЗУ в последовательности E-A-C-B-D

С учетом вышесказанного, можно поставить задачу нахождения такой последовательности, которая бы минимизировала  $T$  (далее будем называть ее оптимальной). Доказано, что для оптимальной последовательности наименьшими являются и простой оборудования, и пролеживание партий в ожидании обработки. Определение оптимального порядка запуска партий деталей в обработку на ПЗУ в общем случае относится к задачам оперативного планирования производства, тем не менее ее целесообразно рассмотреть здесь в непосредственной связи с решением задач организации работы ПЗУ.

### Практическое занятие №11 «Методы оптимизации запуска партий деталей в обработку»

В описываемой ситуации управляющим (изменяемым) параметром является порядок запуска партий деталей в обработку, а функцией – совокупное время обработки на участке всех партий  $T_{сц}$ , которое следует минимизировать.

Простой и точный способ отыскания оптимального порядка запуска партий деталей в обработку по критерию  $T_{сц} \rightarrow \min$  существует только для двухоперационных ПЗУ. Он предложен английским ученым С. М. Джонсоном в 1954 г. Для трехоперационных ПЗУ также имеется точный метод, однако он очень сложен (Р. Беллман, 1957). Для многооперационных ПЗУ ( $K > 3$ ) доказано, что точного метода вообще не существует. Для них разработано большое число приближенных методов, среди которых общеизвестны методы, предложенные учеными С.А. Соколициным и В.А. Петровым.

Приближенные методы позволяют множество вариантов порядка запуска свести к нескольким вариантам, среди которых с большой долей вероятности находится оптимальный. Наиболее простым и распространенным из них является метод Петрова-Соколицына (1951). Лучшие результаты (веро-

ятность отыскания оптимума – до 90%) дает метод Петрова, разработанный позднее. Постановка задачи оптимизации запуска партий деталей в обработку предполагает также, что время переналадки оборудования с одной партии на другую невелико и примерно одинаково. Если это допущение не выполняется, то указанные методы не работают.

**Метод Джонсона.** Так как метод применяется только для двухоперационных участков, исходная матрица времени обработки партий  $T_{ij}$  имеет всего два столбца. Алгоритм нахождения оптимальной последовательности запуска – итерационный, каждая итерация включает два шага.

*Шаг 1.* В матрице времени обработки отыскивается минимальный элемент. Если минимум достигается в первом столбце, то соответствующую ему (по строке) партию деталей следует запускать в обработку первой (последующей). Если во втором столбце, то партию следует обрабатывать последней (предыдущей). Строка, где найден минимум, из дальнейшего рассмотрения исключается (вычеркивается).

*Шаг 2.* Если в матрице остались невычеркнутые строки, то необходимо перейти к шагу 1.

### Пример 3

Работу алгоритма рассмотрим, используя данные табл. 8.6 (в таблице выделены найденные минимумы). Получены две оптимальные последовательности:  $E-B-D-A-C-F$  и  $E-D-B-A-C-F$ . Проверим равенство  $T_{\text{сц}}$  для них построением графических моделей (рис. 8.2 и 8.3).

Таблица 8.6 – Сравнение совокупной длительности цикла при разных последовательностях выполнения операций

| Деталь   | Время обработки партии по операциям, часов |       |
|----------|--------------------------------------------|-------|
|          | 1                                          | 2     |
| <i>A</i> | [2,3]                                      | 6,1   |
| <i>B</i> | [1,2]                                      | 2,2   |
| <i>C</i> | 4,8                                        | [1,0] |
| <i>D</i> | [1,2]                                      | 5,7   |
| <i>E</i> | [0,8]                                      | 4,3   |
| <i>F</i> | 9,2                                        | [0,6] |

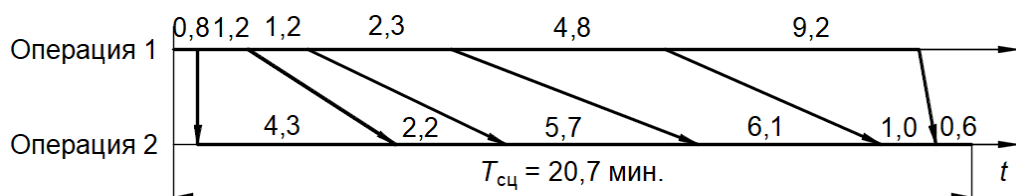


Рисунок 8.2 – График обработки партий деталей на ПЗУ в последовательности  $E-B-D-A-C-F$

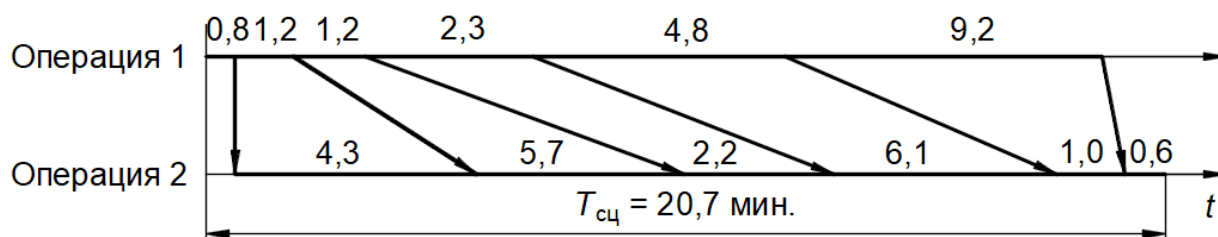


Рисунок 8.3 – График обработки партий деталей на ПЗУ  
в последовательности E-D-B-A-C-F

Если элементы одной строки одинаковы или в столбце несколько одинаковых элементов, то порядок их включения в план произволен, а в результате получается соответствующее число оптимальных последовательностей.

**Метод Петрова-Соколицына.** Исходная матрица та же, что и в методе Джонсона, но снято ограничение на число операций (столбцов). Алгоритм предполагает расчет двух промежуточных сумм и их разности. Затем определяется несколько последовательностей запуска партий в обработку по следующим правилам:

- 1) в порядке убывания первой суммы  $\sum_{j=2}^{K_{\text{оп}}} T_{ij}$ ;
- 2) в порядке возрастания второй суммы  $\sum_{j=1}^{K_{\text{оп}}-1} T_{ij}$ ;
- 3) в порядке убывания разности  $\sum_{j=2}^{K_{\text{оп}}} T_{ij} - \sum_{j=1}^{K_{\text{оп}}-1} T_{ij}$ ;
- 4) в порядке убывания абсолютной величины этой разности.

Таким образом, множество вариантов запуска партий в обработку сводится к четырем вариантам, среди которых, скорее всего, и находится оптимальный. Если среди упорядочиваемых элементов находятся одинаковые, то число вариантов возрастает. Поиск лучшего варианта из отобранных производится прямым перебором. С этой целью для каждой последовательности запуска должно быть найдено время  $T_{\text{сц}}$  и произведен выбор последовательности, минимизирующей эту величину. Оптимальных последовательностей может быть несколько с равными значениями  $T_{\text{сц}}$ .

#### Пример 4

Используя данные примера 1, рассчитаем матрицу вспомогательных сумм для метода Петрова-Соколицына (табл. 8.7). Для удобства здесь же повторена исходная таблица

Таблица 8.7 – Матрица вспомогательных сумм

| Деталь | Операции |       |       |       |       | Вспомогательные суммы |          |          |          |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|----------|----------|----------|
|        | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     | $T_{1i}$              | $T_{2i}$ | $T_{3i}$ | $T_{4i}$ |
| A      | 18,52    | 19,42 | 0     | 19,05 | 19,80 | 58,27                 | 56,99    | 1,28     | 1,28     |
| B      | 7,41     | 11,65 | 16,82 | 0     | 0     | 28,47                 | 35,88    | -7,41    | 7,41     |
| C      | 22,22    | 8,74  | 22,42 | 11,43 | 2,97  | 45,56                 | 64,81    | -19,25   | 19,25    |
| D      | 2,77     | 6,55  | 0     | 8,57  | 3,71  | 18,83                 | 17,89    | 0,94     | 0,94     |
| E      | 13,88    | 21,84 | 21,03 | 0     | 29,70 | 72,87                 | 56,75    | 15,82    | 15,82    |

Согласно четырем правилам метода, партии деталей запускаются в обработку:

- 1) в порядке убывания суммы  $T_{1i}$ , т.е. в последовательности  $E-A-C-B-D$ ;
- 2) в порядке возрастания суммы  $T_{2i}$ , т.е.  $D-B-E-A-C$ ;
- 3) в порядке убывания разности  $T_{3i}$ , т.е.  $E-A-D-B-C$ ;
- 4) в порядке убывания разности  $T_{4i}$ , т.е.  $C-E-B-A-D$ .

Для выбора лучшей последовательности из четырех полученных необходимо рассчитать для них  $T_{\text{сц}}$  и выбрать ту, которая имеет минимальное значение этой величины. Сделать это можно, как уже отмечалось, путем построения графических или аналитических моделей процессов обработки. График для последовательности  $E-A-C-B-D$  показан на рис. 8.1:  $T_{\text{сц}} = 118$  ч. Цепным методом в табл. 8.5 рассчитано значение  $T_{\text{сц}} = 122$  ч для последовательности  $D-B-E-A-C$ . Для последовательности  $E-A-D-B-C$  время  $T_{\text{сц}} = 130$  ч; для  $C-E-B-A-D$  время  $T_{\text{сц}} = 142$  ч. Таким образом, лучшим является вариант  $E-A-C-B-D$ .

### Контрольные задания

1. Дайте полную характеристику предметно-замкнутых участков, укажите их преимущества и недостатки, области применения.

2. Укажите все возможные технологические маршруты, если на участке выполняется следующая последовательность операций:

- а) фрезерная-токарная-круглошлифовальная;
- б) разметочная-сверлильная-фрезерная-резьбонарезная.

3. Укажите все возможные варианты порядка запуска партий в обработку на ПЗУ, если за участком закреплены следующие типоразмеры деталей (обозначены латинскими буквами):

- а)  $A, B, C$ ;
- б)  $A, B, C, D$ .

4. Оптимизируйте порядок запуска партий деталей в обработку на ПЗУ методом Джонсона для исходных данных, представленных в табл. 8.8. Постройте график (графики) оптимальной последовательности запуска.

Таблица 8.8 – Исходные данные к заданию №4

| Типоразмер детали | Штучное время обработки детали на операциях 1 и 2, мин. |    | Размер партии деталей, шт. |
|-------------------|---------------------------------------------------------|----|----------------------------|
|                   | 1                                                       | 2  |                            |
| $A$               | 31                                                      | 11 | 100                        |
| $B$               | 16                                                      | 19 | 150                        |
| $C$               | 24                                                      | 2  | 60                         |
| $D$               | 10                                                      | 5  | 100                        |
| $E$               | 3                                                       | 13 | 200                        |

5. Оптимизируйте порядок запуска партий деталей в обработку методом Петрова-Соколицына для наборов данных, приведенных в табл. 8.9 и 8.10.

Таблица 8.9 – Набор данных №1 для задания №5

| Типоразмер детали  | Штучное время обработки детали на операциях 1-4, мин. |   |   |   | Размер партии деталей, шт. |
|--------------------|-------------------------------------------------------|---|---|---|----------------------------|
|                    | 1                                                     | 2 | 3 | 4 |                            |
| <i>A</i>           | 6                                                     | - | - | 8 | 100                        |
| <i>B</i>           | 4                                                     | 3 | 5 | - | 60                         |
| <i>C</i>           | -                                                     | - | 4 | 9 | 100                        |
| <i>D</i>           | 3                                                     | 7 | 3 | 1 | 60                         |
| <i>E</i>           | 4                                                     | - | 2 | 1 | 50                         |
| Число рабочих мест | 2                                                     | 1 | 3 | 2 |                            |

Таблица 8.10 – Набор данных №2 для задания №5

| Типоразмер детали  | Норма штучного времени обработки детали на операциях 1-5, нормо-часов/шт. |     |     |     |     | Размер партии деталей, шт. |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|----------------------------|
|                    | 1                                                                         | 2   | 3   | 4   | 5   |                            |
| <i>A</i>           | 1,2                                                                       | 0,3 | -   | -   | 1,3 | 12                         |
| <i>B</i>           | -                                                                         | 0,5 | -   | 0,2 | 0,7 | 20                         |
| <i>C</i>           | -                                                                         | 0,1 | 1,1 | 0,6 | 0,9 | 24                         |
| <i>D</i>           | 1,6                                                                       | 0,4 | 1,4 | -   | -   | 6                          |
| <i>E</i>           | 0,8                                                                       | -   | -   | 0,4 | -   | 30                         |
| <i>F</i>           | 0,6                                                                       | -   | 0,5 | 0,8 | 0,9 | 30                         |
| Число рабочих мест | 3                                                                         | 1   | 2   | 1   | 2   |                            |
| Выполнение норм, % | 104                                                                       | 101 | 104 | 103 | 100 |                            |

6. Предметно-замкнутый участок работает в две смены. Плановый период – один месяц (19 рабочих дней). На участке выполняются три операции. Производственная программа участка на планируемый период включает четыре типоразмера деталей. Планируются четыре запуска партий деталей в обработку. Плановая загрузка оборудования – 85%. Определите число рабочих мест, необходимых для выполнения производственной программы, их реальную загрузку, а также оптимальный порядок запуска партий в обработку методом Петрова-Соколицына. Исходные данные для расчета сведены в табл. 8.11.

Таблица 8.11 – Исходные данные для расчёта к заданию №6

| Типоразмер детали  | Норма штучного времени обработки детали на операциях 1-3, нормо-минут/шт. |     |     | Программа, шт./мес. |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|-----|---------------------|
|                    | 1                                                                         | 2   | 3   |                     |
| <i>A</i>           | 6,1                                                                       | 4,6 | 9,9 | 900                 |
| <i>B</i>           | 0                                                                         | 7,4 | 4,9 | 1080                |
| <i>C</i>           | 2,8                                                                       | 0   | 3,2 | 1320                |
| <i>D</i>           | 7,1                                                                       | 9,2 | 8,5 | 600                 |
| Выполнение норм, % | 106                                                                       | 102 | 108 |                     |

## 9. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОТОЧНЫМИ МЕТОДАМИ

### Практическое занятие №12 «Модели и методы расчета линий, оснащенных рабочими конвейерами»

К поточным линиям с принудительным поддержанием ритма относятся те, на которых передача предметов с операции на операцию (от одного рабочего места к другому) осуществляется при помощи единого для всех операций транспортного средства, приводимого в движение каким-либо двигателем. К таким транспортным средствам относятся конвейеры различных видов. Рабочие конвейеры, как правило, применяются на линиях, на которых не используется стационарное технологическое оборудование и преобладающим является ручной труд.

**Рабочие непрерывные конвейеры.** Такие конвейеры используются преимущественно на линиях, где выполняются несложные в технологическом отношении операции с небольшим ритмом выпуска изделий. Три главные характеристики рабочего непрерывного конвейера связаны соотношением:

$$v_k = \frac{l_k}{r_l},$$

где  $v_k$  – скорость ленты;

$l_k$  – шаг конвейера, т.е. расстояние между осями смежных изделий на линии.

Если шаг конвейера показывает расстояние между осями смежных транспортных партий, то и в знаменателе формулы должен стоять временной интервал между соседними партиями, т.е.  $R_{тр}$  – ритм транспортной партии:

$$v_k = \frac{l_k}{R_{тр}} = \frac{l_k}{r_l n_{тр}}.$$

Практически скорость конвейеров колеблется в пределах от 0,1 до 4,0 м/мин. При более высоких скоростях работа на конвейере неудобна или небезопасна. При работе с относительно небольшими изделиями и малой скорости конвейера рабочий может находиться на одном месте и выполнять операцию, перемещая руки вместе с лентой во время нахождения изделия в отведенной для этого рабочей зоне. Длина рабочей зоны строго ограничена антропометрическими характеристиками (длина рук, наклон туловища и т.п.). За одной операцией всегда закрепляется одно рабочее место, т.е.  $q_j = 1$ . Нетрудно заметить, что при полной синхронизации операций, когда перерывов в работе рабочих нет и  $t_j = r_l$ , должно выполняться условие  $l_{пз} = l_k$ , где  $l_{пз}$  – протяженность рабочей зоны вдоль оси конвейера. Другими словами, когда рабочий закончит работу в конце своей рабочей зоны и перенесет руки обратно в ее начало (считается, что перенос (выполняется мгновенно), там уже должно находиться следующее изделие.

В рабочей зоне можно выделить три части: основную и две резервные – в начале и конце зоны. Время выполнения операции есть величина случайная, колеблющаяся около своего среднего значения. Затрачивая на выполнение операции среднее время, рабочий может работать в основной, наиболее удобной части зоны, а во время нахождения изделия в резервных зонах – может отдыхать. Но при отклонении времени от среднего значения в сторону увеличения он должен успеть выполнить операцию, используя для этого резервные части зоны. Суммарная протяженность резервной зоны вдоль оси конвейера определяется по формуле  $l_{рез} = (t_{jmax} - t_j)v_k$ , где  $t_{jmax}$  – максимально допустимая фактическая продолжительность выполнения данной операции.

Рабочие могут находиться у ленты конвейера на расстоянии друг от друга не меньшем, чем длина рабочей зоны. Расстояние между осями смежных рабочих мест называется шагом рабочих мест конвейера –  $l_{рм}$ . Тогда справедливо соотношение  $l_{рм} > l_{рз} = l_k$ . Выбор минимально возможного значения  $l_{рм}$ , с одной стороны, рационален, так как уменьшает общую длину рабочей части конвейера  $L_k = l_{рм} \cdot K_{оп}$  до величины  $L_k = l_{рз} \cdot K_{оп}$ , но с другой стороны, может не обеспечивать удобства планировки рабочих мест и размещения всех предметов их оснащения. Простейшее решение этой проблемы – вынос каждого второго рабочего места на противоположную сторону ленты, т.е. расположение их в «шахматном порядке». Это не увеличивает шага рабочих мест, но в два раза расширяет возможности их обустройства.

Если этого недостаточно, то шаг рабочих мест увеличивается за счет введения транспортных зон между соседними рабочими зонами, т.е.

$$l_{рмj,j+1} = l_{рз} + l_{трj,j+1} = l_k + l_{трj,j+1}, j = 1, 2, \dots, K_{оп} - 1,$$

где  $l_{тр}$  – протяженность транспортной зоны между рабочими местами, на которых выполняются  $j$  и  $j+1$  операции технологического процесса.

Транспортные зоны на конвейере могут также возникать в случае перемещения изделия из одного помещения поточной линии в другое, прохождения неудобных для работы пространств (под пешеходными или автомобильными мостиками и др.). В этом случае общая длина конвейера увеличится до

$$L_k = \sum_{j=1}^{K_{оп}-1} l_{рмj,j+1} + l_{рз} = l_{рз} K_{оп} + \sum_{j=1}^{K_{оп}-1} l_{трj,j+1}.$$

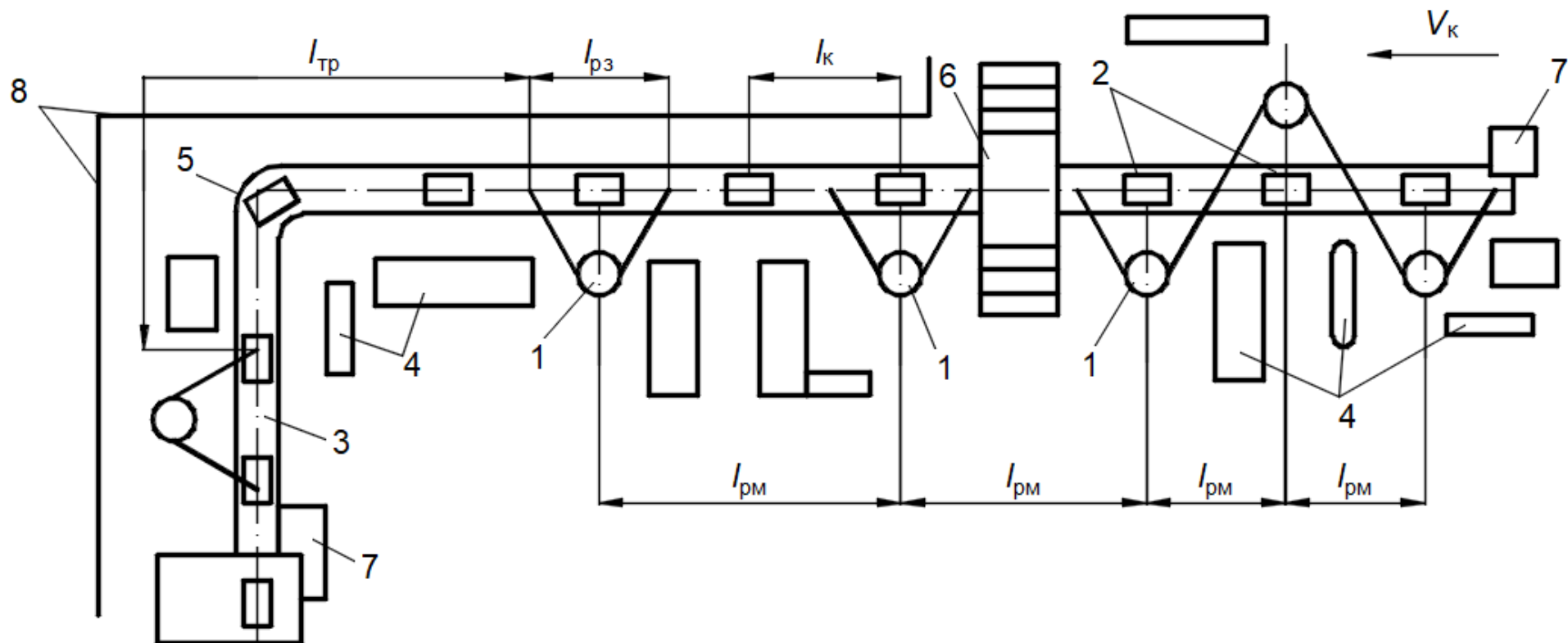


Рисунок 9.1 – Схема планировки конвейерной линии:

1 – рабочие; 2 – изделия; 3 – лента конвейера; 4 – предметы оснащения рабочих мест; 5 – поворотная секция конвейера;  
6 – пешеходный мостик над лентой; 7 – приводные механизмы конвейера; 8 – стена цеха

Однако такое увеличение может быть нежелательно, так как с ростом длины конвейера увеличивается число изделий, находящихся на его ленте  $N_k = L_k/l_k + 1$ , а с ним увеличиваются заделы незавершенного производства, нагрузка на конструкции конвейера и их стоимость, расход двигательной энергии и пр. Чтобы улучшить условия выполнения технологических операций, скорость ленты можно уменьшить за счет уменьшения шага конвейера. При этом уменьшится и длина рабочей зоны, но адекватного ей уменьшения шага рабочих мест ожидать трудно. Следовательно, это приводит к увеличению числа предметов на ленте и к обусловленным этим отрицательным последствиям.

Задача производственного менеджера – найти оптимальное сочетание противоречивых характеристик конвейерной линии. Помогает ему в этом составление схемы пространственной планировки линии (рис. 9.1) и графической модели ее работы (рис. 9.2).

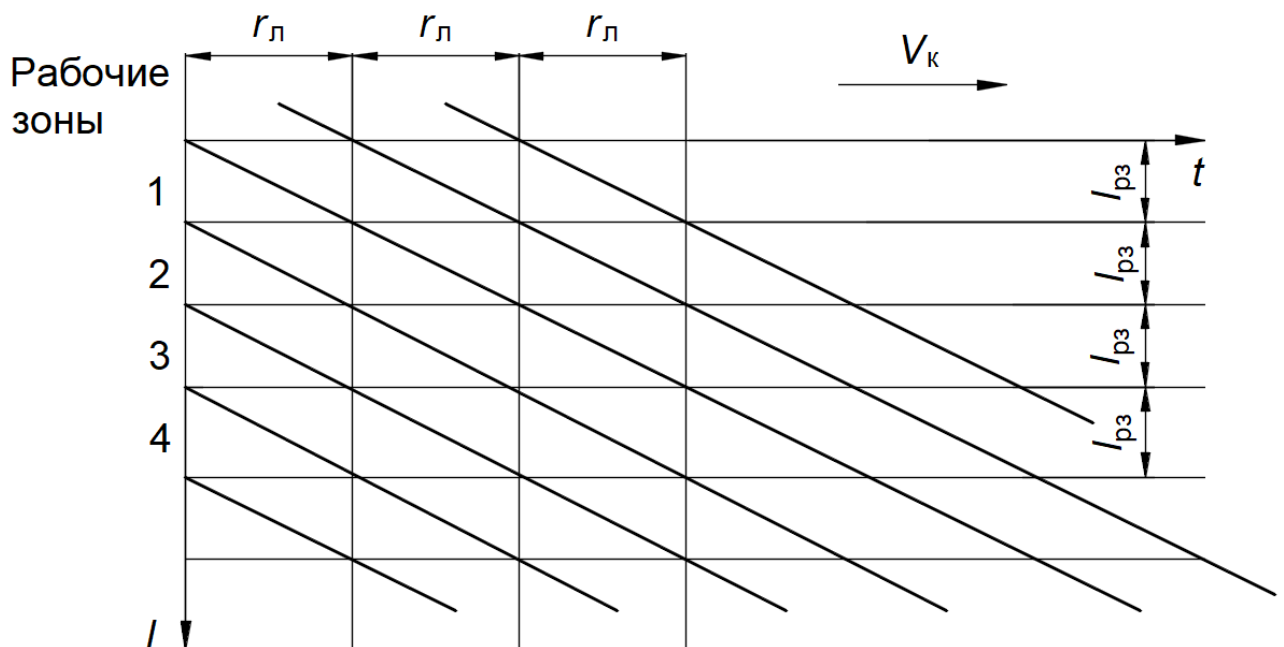


Рисунок 9.2 – График движения изделий по первым четырем рабочим местам линии: планировка линии показана на рис. 5.1; ось расстояний на графике для удобства восприятия повернута вниз

### Пример 1

На ОНПЛ установлен рабочий непрерывный конвейер с шагом 0,6 м. Предметы труда находятся на ленте в кассетах по 6 шт. Шаг рабочих мест переменный. Минимальный шаг равен длине рабочей зоны; протяженность транспортной зоны под пешеходным мостиком  $l_{тр} = l_{рм}$ ; длина поворотной секции по оси конвейера  $l_{тр} = 1,1$  м.

Линия работает в две смены, каждый час предусмотрен 6-минутный регламентированный перерыв. Производственное задание на день – 4320 шт. Требуется определить ритм линии, скорость конвейера, общую длину конвейера, число изделий на нем, а также нагрузку на конвейер, если масса кас-

сету – 420 г и средняя масса одного изготавливаемого изделия – 160 г. Как изменятся характеристики конвейера, если его шаг уменьшить до 0,4 м, не изменяя при этом расположения и планировки рабочих мест?

*Решение*

Решение всегда начинается с расчета ритма линии:

$$r_{\text{л}} = \frac{\Phi}{N_{\text{в}}} = \frac{2 \cdot 8 \cdot 54}{4320} = 0,2 \text{ мин./шт.}$$

Поскольку изделия перемещаются транспортными партиями, для расчета скорости надо использовать ритм партии, а не единицы продукции:

$$V_{\text{к}} = \frac{l_{\text{к}}}{r_{\text{к}} n_{\text{тр}}} = \frac{0,6}{0,2 \cdot 0,6} = 0,5 \text{ м/мин.}$$

Для расчета общей длины конвейера не хватает лишь шага последней пары рабочих мест. Он складывается из двух составляющих:

$$l_{\text{рз}} + l'_{\text{тр}} = l_{\text{к}} + l'_{\text{тр}} = 0,6 + 1,1 = 1,7 \text{ м.}$$

Тогда

$$L_{\text{к}} = \sum_{j=1}^{K_{\text{оп}}-1} l_{\text{рм}j,j+1} + l_{\text{рз}} = 2l_{\text{рм}} + 2l'_{\text{рм}} + (l_{\text{к}} + l'_{\text{к}}) = 2 \cdot 0,6 + 2 \cdot 1,2 + 1,7 + 0,6 = 5,9 \text{ м.}$$

Число изделий на линии равно:

$$N_{\text{к}} = \left( \frac{L_{\text{к}}}{l_{\text{к}}} + 1 \right) n_{\text{тр}} = \left( \frac{5,9}{0,6} + 1 \right) \cdot 6 = 60 \text{ шт.}$$

Нагрузка на конвейер определяется массой изделий и кассет на ленте и ускорением силы тяжести:

$$P_{\text{к}} = (60 \cdot 0,16 + 10 \cdot 0,42) \cdot 9,8 = 135,24 \text{ Н.}$$

Если шаг уменьшить до 0,4 м при неизменной длине конвейера, количество кассет увеличится и составит  $(5,9/0,4) + 1 = 15$  шт., что повлечет за собой возрастание объема незавершенного производства; нагрузка на ленту также возрастет до  $15 \cdot (420 + 6 \cdot 160) \cdot 9,8 = 202,860 \text{ Н}$ ; рабочие зоны уменьшатся до 0,4 м; скорость ленты составит  $0,4/(0,2 \cdot 6) = 0,33 \text{ м/мин.}$ , т.е. условия выполнения операций улучшатся. Между всеми рабочими зонами на 0,2 м увеличатся (или возникнут) транспортные зоны (рис. 9.3 и 9.4).

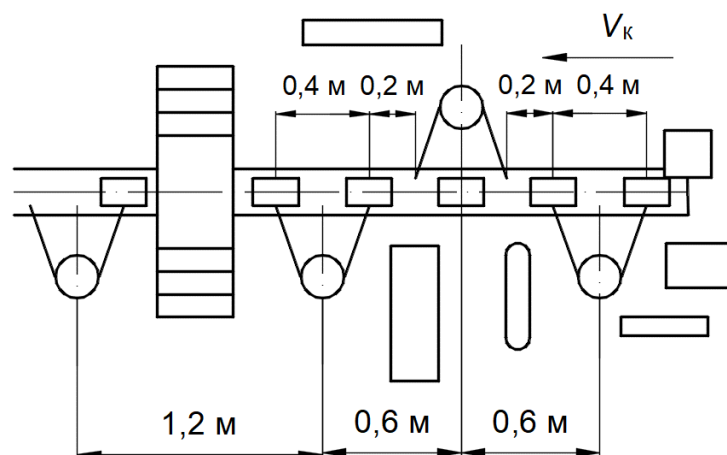


Рисунок 9.3 – Фрагмент схемы конвейерной линии: планировка линии показана на рис. 8.1; шаг конвейера уменьшен до 0,4 м, шаг рабочих мест не изменился

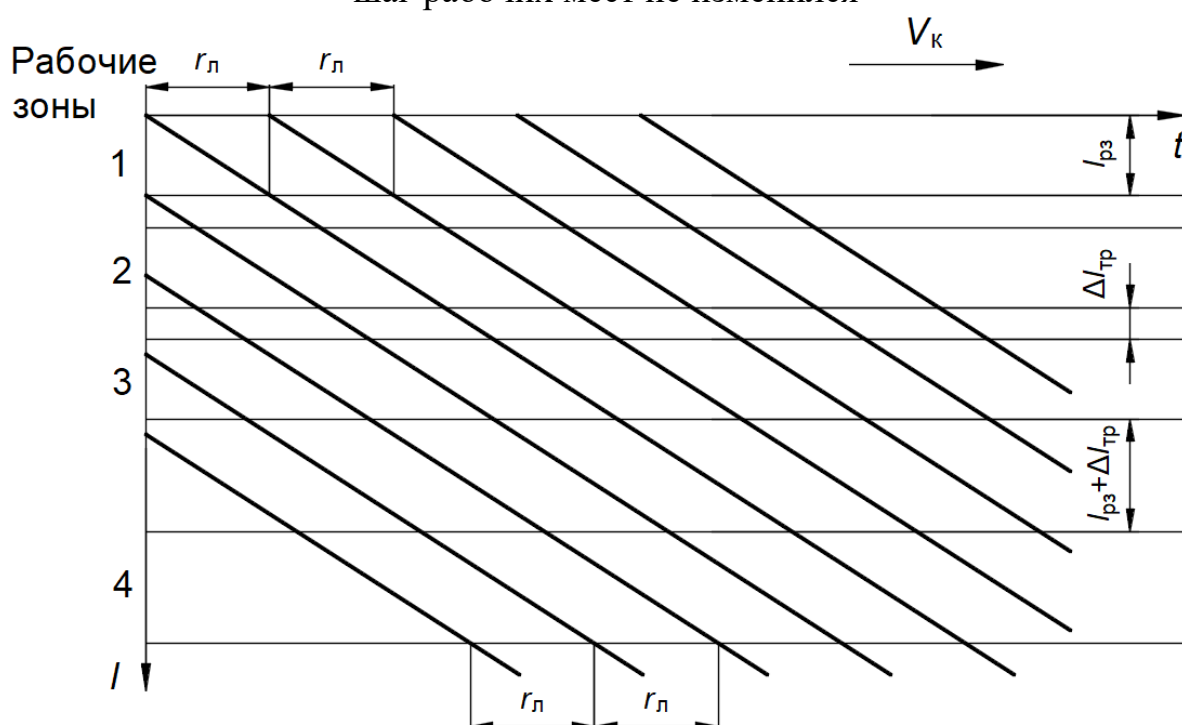


Рисунок 9.4 – График движения изделий по первым четырём рабочим местам линии: планировка линии показана на рис. 8.3

При сборке крупных изделий (автомобилей, холодильников и т.п.) рабочие обычно движутся вслед за изделием по своей рабочей зоне. Это практически снимает ограничение на ее протяженность, но требует введения в расчет времени возврата рабочих в начало их рабочей зоны  $t_b$ . Конвейер за время, равное ритму, перемещает изделие на шаг, а рабочие за то же время должны выполнить операцию в их рабочей зоне и вернуться обратно, т.е.  $r_d = t_j + t_b; j = 1, \dots, K_{оп.}$

Из этого следует, что длина рабочей зоны всегда должна быть меньше шага конвейера ( $l_{рз} < l_k$ ) на величину, которую пройдет изделие за время возврата рабочего, т. е.  $l_k - l_{рз} = V_k t_b$ . При заданных шаге и скорости конвейера

нужно найти длину рабочей зоны и зависящее от нее время возврата рабочего. Для решения задачи следует записать второе уравнение и решить систему. Свяжем уравнением величины  $l_{pz}$  и  $t_b$ :

$$l_{pz} = V_b t_b.$$

где  $V_b$  – скорость возврата рабочего.

Тогда  $V_k t_b = l_k - V_b t_b$ ; отсюда  $t_b = l_k / (V_b + V_k)$  и  $l_{pz} = l_k V_k / (V_b + V_k)$ . Анализ этой формулы показывает, что при очень больших скоростях возврата рабочих шаг конвейера оказывается практически равен длине рабочей зоны (как в случае, когда рабочий неподвижен и возвращает в начало зоны лишь руки), а при снижении скорости возврата разница между ними возрастает.

### Пример 2

Сборочный конвейер автозавода (рабочий с непрерывным движением) работает с ритмом 2,6 мин./шт. Его шаг – 8,5 м. На конвейере выполняется 310 операций. Рабочие, выполняя операции, движутся вслед за конвейером, а затем возвращаются в начало их рабочей зоны со скоростью 3 км/ч. Рабочие зоны разделены транспортными зонами по 1,2 м каждая.

Через конвейер организованы шесть проездов шириной 8 м каждый. Требуется найти скорость конвейера, длину рабочих зон, общую длину конвейера, время сборки одной машины и число машин, находящихся в сборке. Может ли рабочий выполнять свою операцию за 2,40 мин.; 2,55 мин.?

*Решение*

Определим скорость конвейера:

$$V_k = \frac{l_k}{r_l} = \frac{8,5}{2,6} = 3,27 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Учитывая скорость возврата рабочих  $V_b = 3 \text{ км/ч} = 50 \text{ м/мин}$ , рассчитаем длину рабочей зоны:

$$l_{pz} = \frac{l_k V_b}{V_b + V_k} = \frac{8,5 \cdot 50}{50 + 3,27} = 7,98 \text{ м.}$$

Шаг рабочих мест без учета шести проездов составит:

$$l_{pm} = l_{pz} + l_{tp} = 7,98 + 1,2 = 9,18 \text{ м.}$$

Общая длина конвейера равна:

$$L_k = l_{pm} K_{оп} + l_{доп.тр.} = 9,18 \cdot 310 + 6 \cdot 8 = 2893,8 \text{ м.}$$

Количество машин в сборке составит:

$$N_K = \frac{L_K}{l_K} + 1 = \frac{2893,8}{8,5} + 1 = 341 \text{ шт.}$$

Время сборки одной машины равно:

$$T_{\text{ц}} = \frac{L_K}{V_K} = \frac{2893,8}{3,27} = 885 \text{ мин.} = 14,75 \text{ ч.}$$

Отметим, что при наличии 310 рабочих мест сборщиков на конвейере находится 341 машина. Это значит, что 31 машина перемещается в транспортных зонах. Графическая модель работы такого конвейера представлена на рис. 9.5. Определим нормативное время выполнения операций и время возврата рабочих:

$$t_j = \frac{l_{\text{рз}}}{V_K} = \frac{7,98}{3,27} = 2,44 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{в}} = \frac{l_{\text{рз}}}{V_{\text{в}}} = \frac{7,98}{50} = 0,16 \text{ мин.}$$

составляющие в сумме ритм линии 2,6 мин.

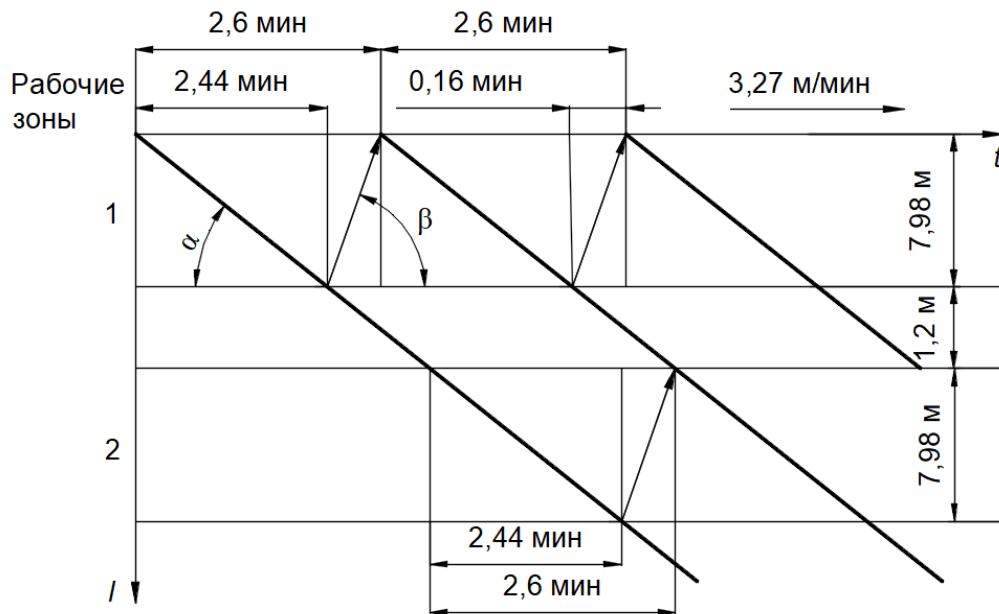


Рисунок 9.5 – График движения изделий по первым двум рабочим зонам сборочного конвейера: скорость конвейера численно равна  $\text{tg} \alpha$ , скорость возврата рабочих равна  $\text{tg} \beta$

Если какой-либо рабочий выполнит свою операцию за 2,4 мин, то он пройдет за это время по рабочей зоне  $2,4 \cdot 3,27 = 7,85 \text{ м}$ , которые при возвращении должен будет пройти за  $t_{\text{в}} = 2,6 - 2,4 = 0,2 \text{ мин}$  со скоростью:

$$V_{\text{в}} = \frac{7,85}{0,2} = 39,25 \frac{\text{м}}{\text{мин}} = 2,35 \text{ км/ч.}$$

Если время выполнения операции 2,55 мин, аналогичные расчеты дадут следующие результаты:  $2,55 \cdot 3,27 = 8,34$  м, что допустимо, так как не превышает шаг рабочих мест 9,18 м;  $t_b = 2,6 - 2,55 = 0,05$  мин = 3 с, что на возврат явно мало;  $V_b = 9,18/0,05 = 166,77$  м/мин = 10 км/ч – это скорость хорошего бегуна. Таким образом, увеличение времени выполнения операции с 2,4 мин до 2,55 мин, т.е. на 6%, приводит к уменьшению времени возврата в четыре раза и росту скорости возврата в 4,25 раза.

#### **Рабочие конвейеры с периодическим (пульсирующим) движением.**

На таких конвейерах лента во время выполнения технологических операций находится в неподвижном состоянии. По окончании работы изделия перемещаются лентой на один шаг, т. е. проходят путь, равный расстоянию между двумя смежными предметами, после чего лента конвейера опять останавливается. Рабочие конвейеры с пульсирующим движением ленты применяются в тех случаях, когда по условиям технологического процесса изделие должно быть неподвижным или когда установлен высокий ритм изготовления крупных по размерам, сложных и тяжелых изделий. В последнем случае при непрерывном движении ленты скорость конвейера была бы слишком малой.

Будем считать, что пульсация ленты на величину шага конвейера  $l_k$  происходит со скоростью  $V_{дв}$  за время  $t_{дв}$ . Три названные характеристики конвейера связаны уже известным соотношением  $t_{дв} = l_k/V_{дв}$ . Время пульсации входит в состав ритма линии  $r_{л} = t_j + t_{дв}$ ;  $j = 1, \dots, K_{оп}$ . В это время рабочие простаивают, поэтому понятно стремление свести его к минимуму, для чего можно либо уменьшить шаг конвейера, либо увеличить скорость пульсации. Последнее сопряжено с большими нагрузками на двигатели при разгоне и торможении, а также с возникающими при этом ускорениями, которые могут быть опасны для изделий. Уменьшение шага, как уже отмечалось, также нежелательно.

То, что лента во время выполнения технологических операций неподвижна, приводит к исключению понятия «рабочая зона», как оно трактовалось ранее, и всех связанных с этим расчетов. То, что лента всегда продвигается строго на один шаг  $l_k$ , приводит к появлению нового требования: шаги рабочих мест должны быть либо равны, либо в целое число раз превышать шаг конвейера. Графическая модель работы такого конвейера представлена на рис. 9.6.

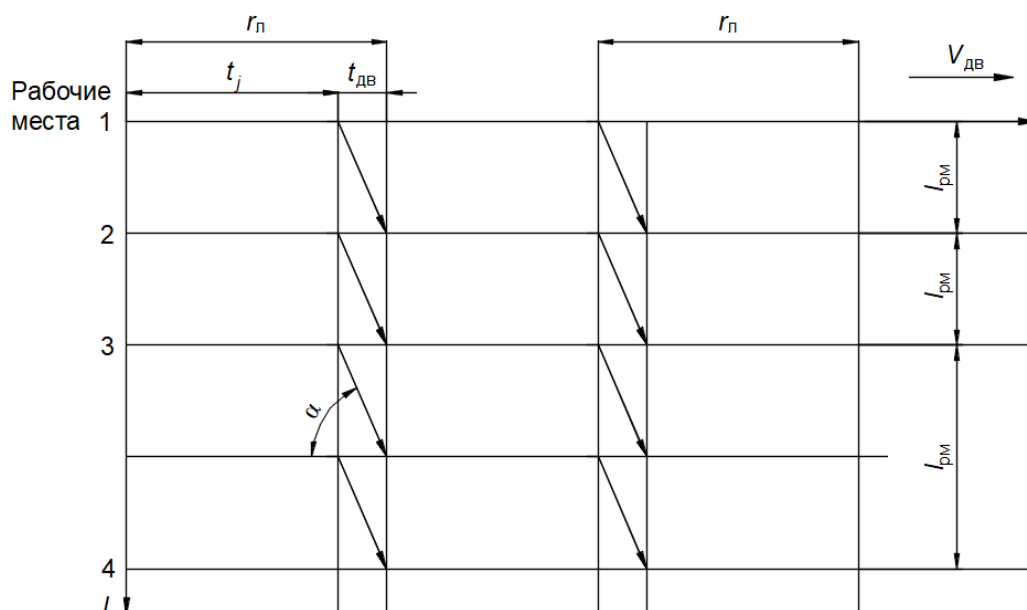


Рисунок 9.6 – График движения изделий по первым четырем рабочим местам ОНПЛ: линия оснащена рабочим пульсирующим конвейером, скорость пульсации ленты равна  $\text{tg}\alpha$

### Практическое занятие №13 «Модели и методы расчета линий, оснащенных распределительными конвейерами»

Если предметы труда (детали, заготовки и т.д.) для выполнения технологических операций на ОНПЛ снимаются с ленты конвейера и на некоторых операциях имеется по несколько рабочих мест ( $q_j \geq 1$ ;  $j = 1, \dots, K_{\text{оп}}$ ), то такой конвейер называется распределительным.

#### Конвейеры с непрерывным движением и снятием изделий с ленты.

Такие конвейеры применяются в большинстве случаев для изготовления продукции, обработка или сборка которой производится с использованием технологического оборудования. Главные отличия расчета распределительных конвейеров от рассмотренных ранее состоят, во-первых, в необходимости учета времени установки-снятия изделия  $t_{\text{yc}}$  при определении ритма линии:  $r = t_j + t_{\text{yc}}$ ;  $j = 1, \dots, K_{\text{оп}}$ . С учетом этого и исходя из условия синхронизации определяется число рабочих мест на операции:

$$q_j = \frac{t_j + t_{\text{yc}}}{r_{\text{л}}} + 1.$$

Во-вторых, понятие «рабочая зона» в том смысле, в котором оно трактовалось для рабочих непрерывных конвейеров, теряет смысл, теряют смысл и все сопряженные с ним ограничения. Расчеты скорости конвейера, его общей длины, числа изделий на ленте выполняются теми же способами, что и для рабочих непрерывных конвейеров, но с учетом  $q_j \geq 1$ . Особый интерес при организации распределительных конвейеров представляет выполнение одной операции на нескольких рабочих местах. В этом случае рабочий, выполняю-

щий длительную операцию, снимает изделия с ленты конвейера и работает с ним, в то время как следующие изделия лента конвейера транспортирует мимо него на следующие рабочие места, где выполняется та же операция (рис. 9.7).

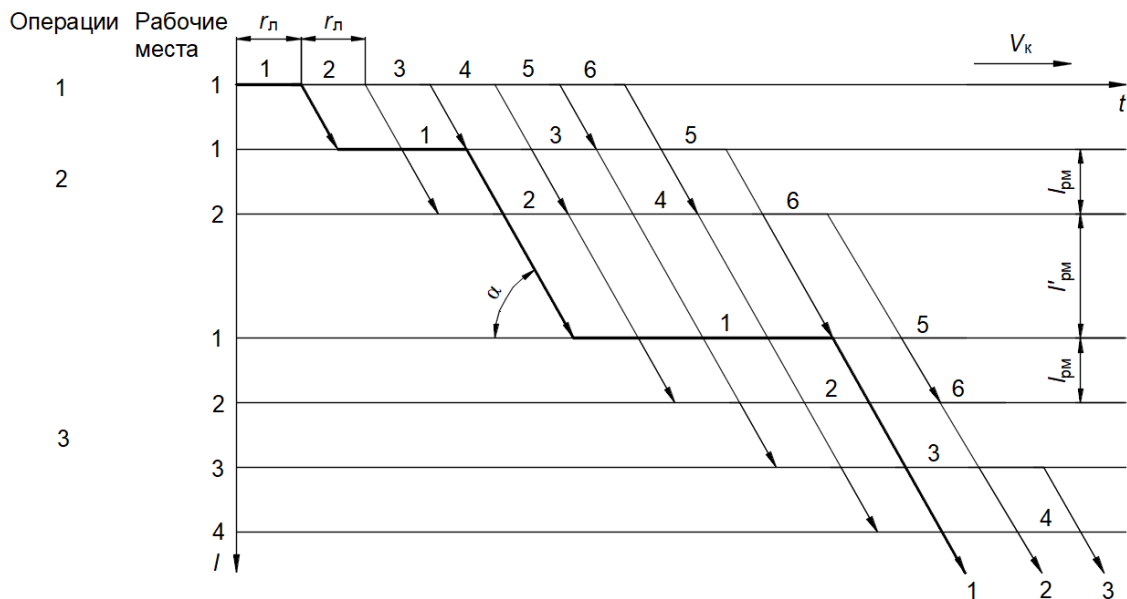


Рисунок 9.7 – График движения первых шести изделий по первым рабочим местам ОНПЛ: линия оснащена непрерывным распределительным конвейером, скорость конвейера равна  $\tan \alpha$ ; время установки-снятия изделий не выделено из состава штучного времени

Чтобы избежать ошибок в распределении изделий между рабочими, выполняющими одну операцию, вводится разметка ленты (цифровая, буквенная, цветовая и т.п.). Если несколько рабочих мест организовано лишь на одной операции ОНПЛ, то число символов разметки должно быть равно числу рабочих мест на этой операции. Если таких операций несколько, то число символов разметки должно быть равно НОК( $q_j$ ). Это число называется числом периода конвейера и обозначается П. Разметка распределительных конвейеров представляет собой обозначение тем или иным способом мест нахождения изделий на ленте с заданным шагом конвейера в соответствии с его числом периода. Период конвейера  $T_k$  – это время, за которое через все операции линии проходит одинаковое число изделий. Он рассчитывается по формуле:  $T_k = r_{л} \cdot П$ .

Для всех рабочих мест составляется таблица закрепления за ними номеров периода (символов). Информация доводится до рабочих (табл. 8.1). При подходе изделия, находящегося на том номере, который закреплен за соответствующим рабочим, последний обязан снять его с конвейера и взамен поставить другое, уже прошедшее обработку на данной операции. В случае, если рабочий не успел обработать очередное изделие к моменту поступления следующего, он должен вместо изделия, снимаемого с ленты конвейера, поставить новое из резервного задела, который, как правило, создается на каждом рабочем месте. Если комплект номеров определяется небольшим числом

порядковых цифр, не затрудняющим запоминание рабочим закрепляемых за ним номеров, то устанавливается один ряд нумерации делений. При такой разметке распределительный конвейер называют однорядным. Когда комплект номеров представляется рядом, состоящим из множества цифр, назначается несколько периодов конвейера с короткими рядами цифр. Каждое деление ленты обозначается несколькими номерами, различающимися по цвету или размещению на ленте. Распределительный конвейер при разметке его в несколько рядов называют многорядным.

Распределение изделий по рабочим местам может производиться при помощи различных механических (или основанных на других принципах действия) приспособлений или устройств. В этом случае легко избежать проблем с запоминанием рабочими закрепленных за ними номеров. На замкнутой ленте конвейера количество полных наборов символов разметки должно уложиться целое число раз. Тогда общая длина ленты  $L = m \cdot l_k \cdot \Pi$ , где  $m$  – минимальное целое число. При этом справедливо соотношение:

$$\pi D + 2l_k \leq L,$$

где  $D$  – диаметр обводных барабанов.

### Пример 3

На ОНПЛ обработки деталей установлен непрерывный распределительный конвейер с шагом 0,4 м. На линии выполняются четыре операции со штучным временем:  $t = 3,6; 7,8; 1,7; 5,5$  (мин/шт.). Время установки-снятия 0,2 мин. Рабочие места располагаются по обе стороны ленты в шахматном порядке, причем расстояние между местами по одну сторону ленты 2,6 м. Ритм линии 2 мин/шт. Необходимо рассчитать число рабочих мест на каждой операции, число периода и период конвейера, номера периода, закрепленные за каждым рабочим местом, общую длину рабочей части конвейера и длину замкнутой ленты конвейера, скорость конвейера, если диаметр обводных барабанов 0,8 м.

#### Решение

Начнем с расчета числа рабочих мест на операциях:

$$q_1 = \frac{3,6+0,2}{2} + 1 = 2 \text{ ед.}; \quad q_2 = \frac{7,8+0,2}{2} = 4 \text{ ед.}; \quad q_3 = \frac{1,7+0,2}{2} + 1 = 1 \text{ ед.};$$

$$q_4 = \frac{5,5+0,2}{2} + 1 = 3 \text{ ед.}$$

Шаг рабочих мест при их шахматном расположении в два раза меньше расстояния между соседними местами по одну сторону:  $l_{pm} = 2,6/2 = 1,3$  м. Общая длина рабочей части конвейера определяется шагом рабочих мест и их общим числом  $q_{\Sigma}$ . Причем,  $L_k = (q_{\Sigma} - 1) \cdot l_{pm} = 9 \cdot 1,3 = 11,7$  м. Скорость конвейера  $V_k = 0,4/2 = 0,2$  м. Число периода конвейера  $\Pi = \text{НОК}(2, 4, 1, 3) = 12$ . Тогда период конвейера  $T_k = 12 \cdot 2 = 24$  мин. Номера периодов, закрепляемые за рабочими местами, сведены в табл. 9.1.

Теперь можно определить общую длину ленты конвейера. Она должна быть не меньше  $2L + nD = 11,7 \cdot 2 + 3,14 \cdot 0,8 = 25,912$  м и в целое число раз больше  $l_k \cdot \Pi = 0,4 \cdot 12 = 4,8$  м. Тогда  $m = (25,912/4,8) + 1 = 6$ , и длина ленты составит:  $L = m \cdot l_k \cdot \Pi = 6 \cdot 4,8 = 28,8$  м. Полученные результаты иллюстрируют рис. 9.7 и 9.8.

Таблица 9.1 – Таблица закрепления номеров периода за рабочими местами

| Номер операции | Номер рабочего места | Номера периода |
|----------------|----------------------|----------------|
| 1              | 1                    | 1 3 5 7 9 11   |
|                | 2                    | 2 4 6 8 10 12  |
| 2              | 1                    | 1 5 9          |
|                | 2                    | 2 6 10         |
|                | 3                    | 3 7 11         |
|                | 4                    | 4 8 12         |
| 3              | 1                    | 1-12           |
| 4              | 1                    | 1 4 7 10       |
|                | 2                    | 2 5 8 11       |
|                | 3                    | 3 6 9 12       |

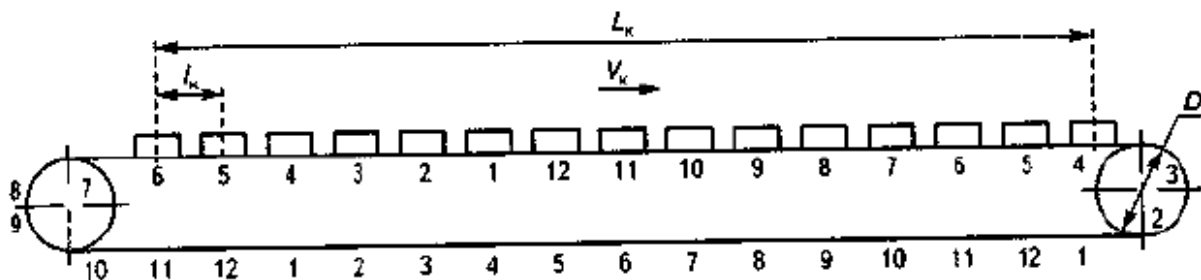


Рисунок 9.8 – Схема разметки ленты непрерывного распределительного конвейера:  $q_{\Sigma} = 15$ ,  $\Pi = 12$  и  $m = 3$

**Конвейеры с периодическим движением и снятием изделий.** Для таких конвейеров ритм работы будет складываться из времени на установку изделия ( $t_{yc}$ ), обработку (или сборку) на рабочем месте и передвижения на следующую операцию ( $t_{дв}$ ):

$$r_{л} = t_j + t_{yc} + t_{дв}, j = 1, \dots, K_{оп}.$$

Время транспортировки, скорость конвейера, общая длина и период конвейера здесь определяются так же, как и для распределительного конвейера с непрерывным движением. Пульсирующий конвейер редко используется как распределительный, обычно – как рабочий.

На непрерывно-поточных линиях при значительном колебании фактических затрат времени на операции устанавливается свободный (или полусвободный) ритм работы. В этом случае передача отдельных единиц продукции может производиться с небольшими (отклонениями от установленного (расчетного) ритма работы линии. Соблюдение установленного ритма может обеспечиваться строго определенной производительностью на первой опера-

ции линии или запуском в обработку предметов на этой операции с установленным ритмом. В некоторых случаях соблюдение ритма контролируется подачей световых или звуковых сигналов. Поддержание ритма работы поточной линии входит в обязанность мастеров и бригадиров. Для компенсации непродолжительных задержек в передаче изделий с операции на операцию на рабочих местах должен быть создан некоторый (как правило, незначительный) резервный запас (задел) предметов.

### **Практическое занятие №14 «Основы организации однопредметных прерывных поточных линий»**

Однопредметные прерывные поточные линии (ОППЛ) создаются для изготовления в течение длительного времени одних и тех же изделий с использованием параллельно-последовательного вида их движения по операциям (рабочим местам). Для них характерны те же общие признаки, что и для других структурных единиц поточного производства ОНПЛ и МНПЛ, рассмотренных ранее в этой главе. Но существенны и отличия. Главное – это невозможность синхронизации операций на линии. Из этого следует, что модели и методы организации ОППЛ принципиально отличны от рассмотренных ранее и требуют отдельного анализа.

Прерывной, или прямоточной, поточной линией называется линия, на которой по условиям конструкции изделий и технологии производства не удастся поддерживать непрерывность производственного процесса: имеются операции, по продолжительности не равные и не кратные ритму. Такие линии обычно используются при обработке деталей с применением разнотипного оборудования, когда трудно обеспечить перераспределение работ между операциями в целях их синхронизации. Прерывные поточные линии могут работать только как линии со свободным ритмом. В качестве транспортных средств чаще всего используются рольганги, скаты, склизы и т.п.

Отсутствие синхронизации приводит к возникновению перерывов на рабочих местах после окончания работ с каждой единицей продукции. Для рационального использования рабочего времени перерывы, возникающие при изготовлении некоторого числа изделий, концентрируются, рабочий и оборудование могут быть использованы в это время для других работ. Очевидно, что чем больше число изделий, на которых происходит такая концентрация, тем проще использовать освободившееся время. С другой стороны, тем больше приходится сдвигать время изготовления изделий для его концентрации, а значит – нарушать непрерывность движения каждого изделия по операциям и увеличивать его пролеживание. С разрешением этой противоречивой ситуации в первую очередь сталкивается производственный менеджер при организации работы ОППЛ.

Обозначим  $n_{об}$  число изделий, на котором происходит концентрация перерывов и работы операций линии. Умножим обе части приведенного выше равенства на эту величину:

$$t_{\text{пер}j} \cdot n_{\text{об}} = r_{\text{л}} \cdot n_{\text{об}} - \frac{t_j \cdot n_{\text{об}}}{q_j}.$$

Обозначим общее время концентрированного перерыва  $\frac{t_{\text{пер}j} \cdot n_{\text{об}}}{q_j} = T_{\text{пер}}$ , общее время концентрированной работы  $\frac{t_j \cdot n_{\text{об}}}{q_j} = T_j$ , ритм оборотной партии или период оборота линии  $r_{\text{л}} \cdot n_{\text{об}} = R_{\text{об}}$ . Тогда

$$T_j + T_{\text{пер}} = R_{\text{об}}.$$

Период оборота линии – интервал времени, по истечении которого линия полностью повторяет свое состояние, а на каждой ее операции изготавливается одинаковое число изделий  $n_{\text{об}}$ , называемое оборотной партией.

Пролеживающие между операциями изделия образуют межоперационный оборотный задел. Его величина изменяется во времени. График изменения, построенный на интервале, равном периоду оборота линии, называется эпюрой задела. Эпюры строятся для каждой пары смежных операций линии. Оборотный задел возникает из-за разницы производительности и/или из-за сдвига начала работы на смежных операциях. Его величина пропорциональна значениям этих двух параметров, а также размеру оборотной партии. Особый интерес для менеджера представляет расчет максимального, среднего и переходящего заделов для каждой пары смежных операций и на линии в целом. Величина максимального задела определяет потребность в складских помещениях или в площадях непосредственно на рабочих местах, отводимых для хранения межоперационных заделов. Величина переходящего задела используется для оперативного контроля хода производства. Средний задел в стоимостном выражении является важнейшей составляющей объема незавершенного производства на линии.

### Модели и методы расчета оборотного задела

Рассмотрим правила построения эпюр оборотного задела:

- 1) эпюра представляет собой кусочно-линейную непрерывную функцию;
- 2) величина оборотного задела изменяется от нуля до некоторого максимального значения; это максимальный задел  $H_{\text{обmax}}$ ;
- 3) оборотный задел в начале периода оборота равен заделу в конце периода; это переходящий задел  $H_{\text{обmax}}$ . Построение эпюры и расчет параметров задела для произвольной пары смежных операций  $j$  и  $j + 1$  включает следующие шаги.

1. Период оборота линии разбивается на интервалы, в пределах которых состояния операций неизменны.

2. Для каждого интервала решается вопрос о характере изменения задела:

а) он увеличивается, если пополняющая задел операция более производительна, чем берущая из задела, с учетом числа работающих в этом интервале рабочих мест;

б) он уменьшается, если пополняющая операция менее производительна;

в) он неизменен, если обе операции в паре равнопроизводительны (в том числе – обе не выполняются).

3. Линейные функции на всех интервалах связываются в единую эпюру на основании приведенных ранее правил построения эпюр.

4. Для каждого интервала рассчитывается изменение величины задела по формуле:

$$\Delta H_{j,j+1}^i = T_i \left( \frac{q_j^i}{t_j} - \frac{q_{j+1}^i}{t_{j+1}} \right),$$

где  $T_i$  – продолжительность  $i$ -го интервала;

$q_j^i, q_{j+1}^i$  – количество рабочих мест на  $j$ -й и  $(j + 1)$ -й операциях, выполняемых на  $i$ -м интервале.

5. Начиная с нулевой точки, цепным методом рассчитываются величины задела во всех переломных точках эпюры (на границах интервалов) с использованием полученных ранее значений  $\Delta H_{j,j+1}^i$ ; при этом часть расчетов может оказаться избыточной, если искомые величины уже найдены.

6. Рассчитывается величина среднего задела  $H_{об.ср}$  как высота прямоугольника, равновеликого фигуре, образованной эпюрой задела.

#### Пример 4

Рассмотрим пару смежных операций ОППЛ. Пусть  $R_{об} = 4$  ч;  $n_{об} = 80$  шт.;  $t_1 = 1,1$  мин;  $t_2 = 1,8$  мин. Требуется построить эпюры задела и рассчитать  $H_{об.мах}$ ,  $H_{об.пер}$  и  $H_{об.ср}$  при различных сдвигах начала операций относительно друг друга ( $T_{сдв}$ ).

#### Решение

Начнем расчет с определения ритма линии, количества рабочих мест на операциях и времени их работы в течение периода оборота:

$$r_{л} = \frac{R_{об}}{n_{об}} = \frac{4 \cdot 60}{80} = 3 \text{ мин.}$$

$$q_1 = \frac{1,1}{3} + 1 = 1 \text{ ед.}; q_2 = \frac{1,8}{3} + 1 = 1 \text{ ед.}$$

$$T_1 = 1,1 \cdot 80 = 88 \text{ мин.}; T_2 = 1,8 \cdot 80 = 144 \text{ мин.}$$

1. Пусть  $T_{сдв} = 0$  и обе операции начинаются в начале периода оборота линии. Тогда на периоде оборота выделим три интервала (рис. 9.9). На первом осуществляются обе операции, причем первая более производительна ( $t_1 < t_2$ ). Значит, задел увеличивается. На втором выполняется только вторая операция и задел уменьшается. На третьем не осуществляется ни одна из операций и задел не меняется. Эпюра задела для этого случая представлена на рис. 9.9.



Рисунок 9.9 – Графики работы на двух смежных операциях ОППЛ и эпюра оборотного задела между ними:  $T_{сдв} = 0$

Выполним расчеты:

$$\Delta H_{об1,2}^I = 88 \cdot \left( \frac{1}{1,1} - \frac{1}{1,8} \right) = 31,1 \cong 32;$$

$$\Delta H_{об1,2}^{II} = (144 - 88) \cdot \left( 0 - \frac{1}{1,8} \right) = -31,1 \cong -32.$$

Минус во втором результате означает, что задел на интервале II уменьшается на полученную величину. Очевидно, что величина прироста задела на интервале должна быть равной величине его уменьшения на интервале II. Поэтому один из выполненных расчетов является излишним.

Здесь

$$H_{об1,2}^{\max} \cong 32 \text{ шт.}; H_{об1,2}^{\text{пер}} = 0;$$

$$H_{об1,2}^{\text{ср}} = \frac{31,1 \cdot 144}{2 \cdot 240} = 9,3 \text{ шт.}$$

2. Пусть  $T_{сдв} = 56$  мин и обе операции заканчиваются вместе (рис. 9.10, а). Применительно к предыдущим рассуждениям это означает, что интервалы I и II меняются местами. Эпюра для этого случая показана на рис. 9.10, а.

Приращения задела на интервалах не изменяются по сравнению с предыдущим случаем, поэтому максимальный задел остается прежним, в то же время средний задел существенно увеличится:

$$H_{об1,2}^{\text{пер}} = 32 \text{ шт.}; H_{об1,2}^{\text{ср}} = \frac{\left( \frac{31,1 \cdot 144}{2} + 31,1 \cdot (240 - 144) \right)}{240} = 22 \text{ шт.}$$

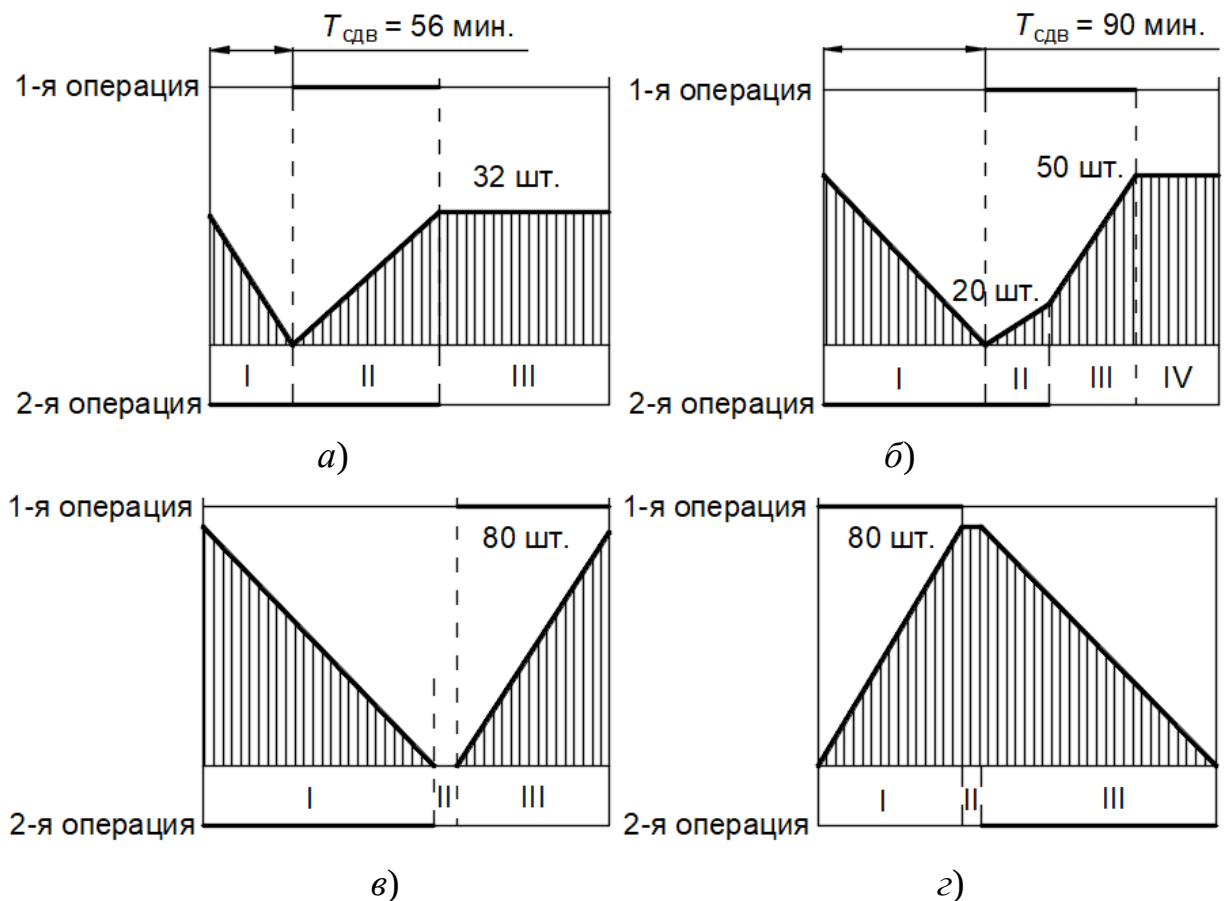


Рисунок 9.10 – Графики работы на двух смежных операциях ОППЛ и эпюры оборотного задела между ними: *а* – время работы на меньшей операции полностью укладывается во время работы на большей; *б* – значения времени работы на операциях перекрываются частично; *в* и *г* – значения времени работы на операциях не перекрываются, сдвиг начала операций максимален, чередование операций различно. Для упрощения координатные оси на рисунке опущены

3. Пусть  $T_{\text{сдв}} = 90$  мин. Тогда на периоде оборота можно выделить четыре интервала, а эпюра примет вид, показанный на рис. 9.10, *б*. Анализ показывает, что на интервале III задел должен увеличиваться быстрее, чем на II интервале, так как там не выполняется вторая операция, на которой изделие берется из задела. В общем случае угол наклона прямой пропорционален разности значений производительности операций на данном интервале. Здесь на II интервале тангенс угла наклона составит  $1/1,1 - 1/1,8 = 0,35$ , а на III интервале –  $1/1,1 - 0 = 0,91$ . Выполним расчеты:

$$\begin{aligned} \Delta H_{061,2}^I &= 90 \cdot \left(0 - \frac{1}{1,8}\right) = 50 \text{ шт.}; \\ \Delta H_{061,2}^{\text{II}} &= (144 - 90) \cdot \left(\frac{1}{1,1} - \frac{1}{1,8}\right) = 19,1 \approx 20 \text{ шт.} \\ \text{Здесь } H_{061,2}^{\text{max}} &= H_{061,2}^{\text{пер}} = 50 \text{ шт.}; \\ H_{061,2}^{\text{ср}} &= \frac{\frac{50 \cdot 90}{2} + \frac{19,1 + 50}{2 \cdot (88 + 90 - 144)} + 50 \cdot (240 - 90 - 88)}{240} = 30 \text{ шт.} \end{aligned}$$

4. Пусть сдвиг таков, что на обеих операциях нет общего времени работы. В нашем случае для этого он должен быть равным или превышать 144 мин. В результате вся партия сначала должна обрабатываться на одной операции, а затем на второй, причем не имеет значения, какая операция начинает выполняться первой (рис. 9.10, *в, г*). Действительно, в первом случае имеем:

$$\Delta N_{об1,2}^I = 144 \cdot \left(0 - \frac{1}{1,8}\right) = 80 \text{ шт.}$$

Во втором случае оборотный задел составит:

$$\Delta N_{об1,2}^I = 88 \cdot \left(\frac{1}{1,1} - 0\right) = 80 \text{ шт.}$$

Различаются в этих случаях лишь значения среднего и переходящего заделов. В первом случае имеем:

$$N_{об1,2}^{пер} = N_{об1,2}^{max} = 80 \text{ шт.};$$

$$N_{об1,2}^{ср} = \frac{80 \cdot \frac{144+88}{2}}{240} = 39 \text{ шт.}$$

Во втором случае средний и переходящий заделы составят:

$$N_{об1,2}^{пер} = 0; N_{об1,2}^{ср} = 39 + \frac{80 \cdot (240 - 88 - 144)}{240} = 42 \text{ шт.}$$

Проведя анализ этих и других возможных вариантов сочетания во времени выполнения двух смежных операций на ОППЛ, можно прийти к следующим выводам.

1. Величина  $N_{обj, j+1max}$  принимает наименьшее значение в том случае, если время выполнения меньшей в паре операции полностью укладывается во время выполнения большей, независимо от сдвига их начала и порядка следования друг за другом.

2. При увеличении сдвига с нарушением указанного условия величина  $N_{обj, j+1max}$  возрастает и достигает наибольшего значения при максимальном сдвиге.

3. Если при некотором значении сдвига операции перестают перекрываться (не имеют общего времени работы), величина  $N_{обj, j+1max}$  достигает своего максимума, равного  $n_{об}$ , и при дальнейшем увеличении сдвига не возрастает.

Эти особенности должен учитывать производственный менеджер, определяя регламент работы линии, т.е. задавая время начала работы всех операций. Критерием при этом является минимизация величин оборотных заделов на всех парах смежных операций. Однако это не единственный критерий. Другим противоречащим ему критерием является оптимизация использования рабочей силы на линии. Противоречащим потому, что, как видно из рассмотренного примера, на двух операциях можно использовать одного рабочего, только если операции не перекрываются во времени и, следовательно, задел между ними максимален. Рациональное использование рабочей силы здесь может быть достигнуто за счет организации последовательного много-станочного обслуживания. Задача определения регламента работы линии становится сложнее в том случае, когда для выполнения операции используется несколько рабочих мест.

Для таких операций возможны два типовых варианта регламента работы:

- 1) с равномерной загрузкой всех рабочих мест;
- 2) с полной загрузкой всех рабочих мест, кроме последнего. Первый вариант целесообразен, если на операции может быть организовано параллельное многостаночное обслуживание. В противном случае лучшим является второй вариант, так как здесь все рабочие места, кроме последнего, загружены оптимально – полностью, а на последнем может появиться возможность использовать частично свободного рабочего на других операциях. В конкретных случаях могут возникать и другие организационные варианты работы ОППЛ.

### Пример 5

Пусть  $R_{об} = 44$ ;  $n_{об} = 80$  шт.;  $t_1 = 4,2$  мин;  $t_2 = 1,7$  мин. Тогда  $r_{л} = 3$  мин;  $q_1 = (4,2/3) + 1 = 2$  ед.;  $q_2 = (1,7/3) + 1 = 1$  ед.;  $T_1 = 4,2 \cdot 80/2 = 168$  мин;  $T_2 = 1,7 \cdot 80 = 136$  мин.

1. Если на первой операции возможно организовать параллельное многостаночное обслуживание двух рабочих мест одним рабочим (рис. 9.11, а), тогда

$$N_{об1,2}^{пер} = N_{об1,2}^{max} = \Delta N_{об1,2}^I = 136 \cdot \left( \frac{2}{4,2} - \frac{1}{1,7} \right) = 15,2 \cong 16 \text{ шт.};$$

$$N_{об1,2}^{ср} = \frac{\frac{15,2 \cdot 168}{2} + \frac{15,2 \cdot (240 - 168)}{2}}{240} = 9,9 \cong 10 \text{ шт.}$$

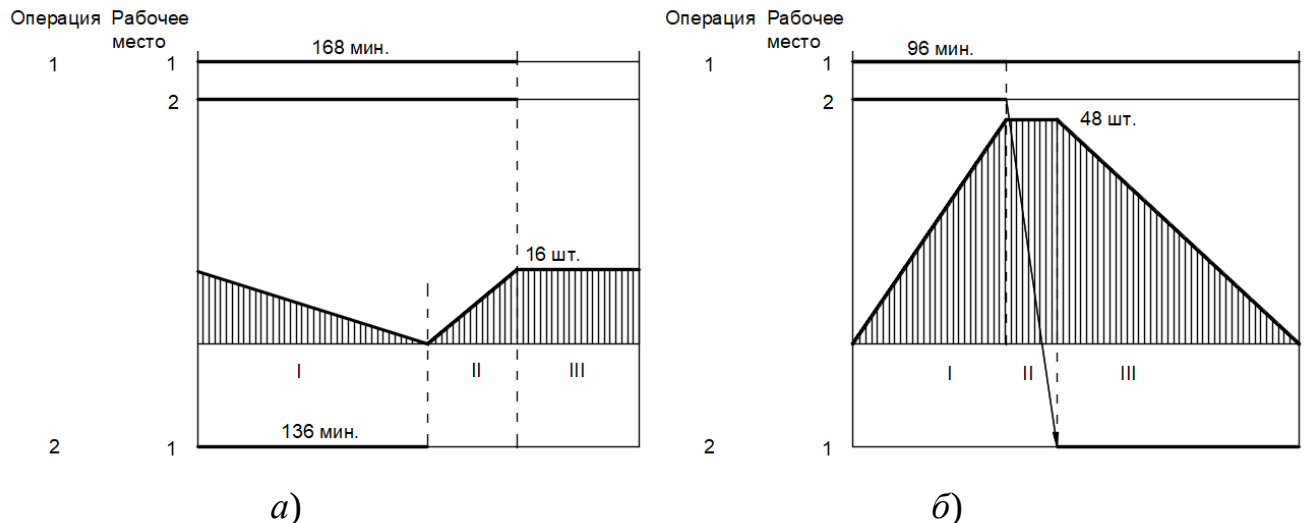


Рисунок 9.11 – Графики работы на двух смежных операциях ОППЛ и эпюры оборотного задела между ними: а – равномерная загрузка рабочих мест на первой операции, где может быть организовано параллельное многостаночное обслуживание; б – полная загрузка первого рабочего места и частичная второго на первой операции; может быть организовано последовательное многостаночное обслуживание

2. Если на первой операции организовать параллельное многостаночное обслуживание нельзя, то более рациональным может оказаться другой вариант регламента (рис. 9.11, б).

При этом выполненный ранее расчет величины  $T_1$  оказывается неверным. На первой операции рабочие загружены по-разному:

$$T_{11} = 240 \text{ мин (полная загрузка);}$$

$$T_{12} = 4,2 \cdot 80 - 240 = 96 \text{ мин (частичная загрузка).}$$

Установим регламент так, чтобы отрезки  $T_{12}$  и  $T_2$  не перекрывались и можно было бы организовать последовательное многостаночное обслуживание на втором рабочем месте на первой и второй операции (стрелка на рис. 9.11, б показывает переход рабочего). Выполним расчеты:

$$H_{061,2}^{\max} = H_{061,2}^{\text{III}} = 136 \cdot \left( \frac{1}{4,2} - \frac{1}{1,7} \right) = 47,6 \cong 48 \text{ шт.};$$

$$H_{061,2}^{\text{пер}} = 0; H_{061,2}^{\text{ср}} = \frac{1}{240} \cdot 47,6 \cdot \frac{240}{2} = 23,7 \text{ шт.}$$

С помощью рассмотренных выше методов операционный менеджер моделирует различные варианты организации работ ОППЛ и выбирает из них лучший на его взгляд. Для этого варианта результаты аналитического моделирования и графические модели изменения заделов, т. е. эпюры заделов, а также графики выполнения операций и работы рабочих сводятся в единый документ, который передается в производство под названием «Стандарт-план работы ОППЛ». Он имеет форму, приведенную в табл. 9.2 (здесь отсутствует графа с эпюрами заделов). В стандарт-плане определяется наиболее целесообразный регламент работы прерывной поточной линии: период оборота  $T_0$  (или соответственно  $n_{06}$ ), время работы каждого рабочего места по всем операциям, размеры оборотных заделов, численность рабочих, занятых на линии с учетом многостаночного обслуживания, последовательность и периодичность перехода рабочих с операции на операцию, коэффициенты загрузки рабочих мест.

Таблица 9.2 – Стандарт-план работы ОППЛ

| Пооперационный стандарт-план работы линии |                     |                     |                      |                  |                                  |                |                    |             |         |
|-------------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------|----------------------------------|----------------|--------------------|-------------|---------|
| Номер операции                            | Штучное время, мин. | Кол-во рабочих мест | Номер рабочего места | Время работы, ч. | Коэфф. загрузки рабочего времени | Номер рабочего | Размер задела, шт. |             |         |
|                                           |                     |                     |                      |                  |                                  |                | max                | переходящий | средний |
| 1                                         | 2,98                | 1                   | 1                    | 4,27             | 0,53                             | 1              |                    |             |         |
| 2                                         | 5,12                | 1                   | 1                    | 7,34             | 0,92                             | 2              | 36                 | 31          | 29      |
| 3                                         | 7,84                | 2                   | 1                    | 8,00             | 1,00                             | 3              | 20                 | 20          | 9       |
| 4                                         | 14,79               | 3                   | 2                    | 3,74             | 0,41                             | 1              |                    |             |         |
|                                           |                     |                     | 1                    | 7,07             | 0,88                             | 4              | 18                 | 8           | 9       |
|                                           |                     |                     | 2                    | 7,07             | 0,88                             | 5              | 0                  | 0           | 0       |
|                                           |                     |                     | 3                    | 7,07             | 0,88                             | 6              | 0                  | 0           | 0       |
| 5                                         | 4,93                | 1                   | 1                    | 7,07             | 0,88                             | 7              | 86                 | 0           | 43      |
| 6                                         | 0,62                | 1                   | 1                    | 0,89             | 0,11                             | 7              |                    |             |         |

## Типовая задача №5

На прерывисто-поточной линии обрабатывается картер двигателя автомобиля. Участок работает в 2 смены. Суточная программа  $N = 184$  шт. Комплектование заделов производится 2 раза в смену, т.е. ритм работы  $R = 480/2 = 240$  мин.

### Требуется:

1. Произвести расчёт:
  - такта поточной линии;
  - количества рабочих мест;
  - количества рабочих на линии.
2. Составить план-график работы оборудования и рабочих.
3. Рассчитать межоперационные заделы и построить график их передвижения.

Перечень операций, необходимого оборудования, штучное время и разряд работы приведены в таблице 9.3:

Таблица 9.3 – Исходные данные

| № операции | Название операции                                  | Оборудование                   | $t_{шт}$ , мин | Разряд работы |
|------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------|
| 1          | Сверление отверстия в плоскости под опорный ролик  | Радиально-сверлильный станок   | 2,9            | 3             |
| 2          | Фрезерование торца с внутренней стороны            | Горизонтально-фрезерный станок | 2,3            | 3             |
| 3          | Сверление отверстия до пересечения с литым каналом | Вертикально-сверлильный станок | 2,7            | 3             |
| 4          | Нарезание резьбы                                   | Вертикально-сверлильный станок | 1,7            | 4             |
| 5          | Сверление отверстия на проход                      | Вертикально-сверлильный станок | 2,3            | 3             |
| 6          | Ввёртывание в картер шпильки и наворачивание гайки | Гайковёрт                      | 1,2            | 2             |
| 7          | Нарезание специальной резьбы                       | Вертикально-сверлильный станок | 5,1            | 4             |
| 8          | Зенкерование отверстия                             | Радиально-сверлильный станок   | 2,5            | 3             |

### Решение:

1. Определение такта поточной линии

$$\tau_{п.л.} = \frac{T \cdot S}{N_s},$$

где  $\tau_{п.л.}$  – такт поточной линии;

$S$  – количество смен работы,  $S = 2$ ;

$T$  – длительность смены,  $T = 480$  мин.;

$N_3$  – программа запуска,  $N_3 = 184$  шт.

$$\tau_{н.л.} = \frac{480 \cdot 2}{184} = 5,2 \text{ мин.}$$

## 2. Определение количества рабочих мест по операциям, загрузке рабочих мест и возможности совмещения операций.

$$C_p = \frac{t_{ум}}{\tau_{н.л.}}.$$

Если при расчёте  $C_p$  получается число дробное, то  $C_p$  принимается целым.

Одновременно с расчётом количества рабочих мест учитывается загрузка рабочих мест, определяется количество исполнителей и устанавливается возможность совмещения операций, а также порядок совмещения.

Результаты сводятся в таблицу 9.4.

Таблица 9.4 – Количество рабочих мест по операциям, загрузке и возможности совмещения операций

| № операции | Штучное время, мин | Расчётное количество рабочих мест $C_p$ | Принятое количество рабочих мест $C_{пр}$ | Загрузка рабочих мест $k_z$ , % | Количество рабочих | Порядок совмещения операций |
|------------|--------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 1          | 2,9                | 0,56                                    | 1                                         | 56                              | 1                  | 1-й рабочий                 |
| 2          | 2,3                | 0,44                                    | 1                                         | 44                              | -                  | 1-й рабочий                 |
| 3          | 2,7                | 0,52                                    | 1                                         | 52                              | 1                  | 2-й рабочий                 |
| 4          | 1,7                | 0,33                                    | 1                                         | 33                              | 1                  | 3-й рабочий                 |
| 5          | 2,3                | 0,44                                    | 1                                         | 44                              | -                  | 3-й рабочий                 |
| 6          | 1,2                | 0,23                                    | 1                                         | 23                              | -                  | 3-й рабочий                 |
| 7          | 5,1                | 0,98                                    | 1                                         | 98                              | 1                  | 4-й рабочий                 |
| 8          | 2,5                | 0,48                                    | 1                                         | 48                              | -                  | 2-й рабочий                 |

## 3. Составление плана-графика работы оборудования и рабочих

Для составления плана-графика определяем период работы на смежных операциях при неизменном количестве работающих станков (время работы каждого рабочего на одном рабочем месте):

$$T_n = \frac{R \cdot k_z}{100}.$$

$$\left. \begin{aligned} T_{n1} &= \frac{240 \cdot 56}{100} = 134 \text{ мин.;} \\ T_{n2} &= \frac{240 \cdot 44}{100} = 106 \text{ мин.;} \\ T_{n3} &= \frac{240 \cdot 52}{100} = 125 \text{ мин.;} \\ T_{n8} &= \frac{240 \cdot 48}{100} = 115 \text{ мин.;} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &1\text{-й рабочий} \\ &2\text{-й рабочий} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} T_{n4} &= \frac{240 \cdot 33}{100} = 79 \text{ мин.}; \\ T_{n5} &= \frac{240 \cdot 44}{100} = 106 \text{ мин.}; \\ T_{n6} &= \frac{240 \cdot 23}{100} = 55 \text{ мин.}; \end{aligned} \right\} \text{ 3-й рабочий}$$

$$T_{n7} = \frac{240 \cdot 98}{100} = 240 \text{ мин.} - \text{4-й рабочий}$$

Откладываем эти данные на плане-графике (рис. 9.12).

#### 4. Расчёт межоперационных заделов и построение графика их передвижения.

По построенному план-графику работы оборудования и рабочих рассчитываются межоперационные заделы:

$$z_{\max} = \frac{T_n \cdot C_i}{t_i} - \frac{T_n \cdot C_{i+1}}{t_{i+1}}$$

##### 1) Операция 1-2:

$$z'_{1-2} = \frac{134 \cdot 1}{2,9} - \frac{134 \cdot 0}{2,3} = +46;$$

$$z''_{1-2} = \frac{106 \cdot 0}{2,9} - \frac{106 \cdot 1}{2,3} = -46.$$

##### 2) Операция 2-3:

$$z'_{2-3} = \frac{125 \cdot 0}{2,3} - \frac{125 \cdot 1}{2,7} = -46;$$

$$z''_{2-3} = \frac{(134 - 125) \cdot 0}{2,3} - \frac{(134 - 125) \cdot 0}{2,7} = 0;$$

$$z'''_{2-3} = \frac{106 \cdot 1}{2,3} - \frac{106 \cdot 0}{2,7} = +46.$$

##### 3) Операция 3-4:

$$z'_{3-4} = \frac{79 \cdot 1}{2,7} - \frac{79 \cdot 1}{1,7} = -17;$$

$$z''_{3-4} = \frac{(125 - 79) \cdot 1}{2,7} - \frac{(125 - 79) \cdot 0}{1,7} = +17;$$

$$z'''_{3-4} = \frac{115 \cdot 0}{2,7} - \frac{115 \cdot 0}{1,7} = 0.$$

##### 4) Операция 4-5:

$$z'_{4-5} = \frac{79 \cdot 1}{1,7} - \frac{79 \cdot 0}{2,3} = +46;$$

$$z''_{4-5} = \frac{106 \cdot 0}{1,7} - \frac{106 \cdot 1}{2,3} = -46;$$

$$z'''_{4-5} = \frac{55 \cdot 0}{1,7} - \frac{55 \cdot 0}{2,3} = 0.$$

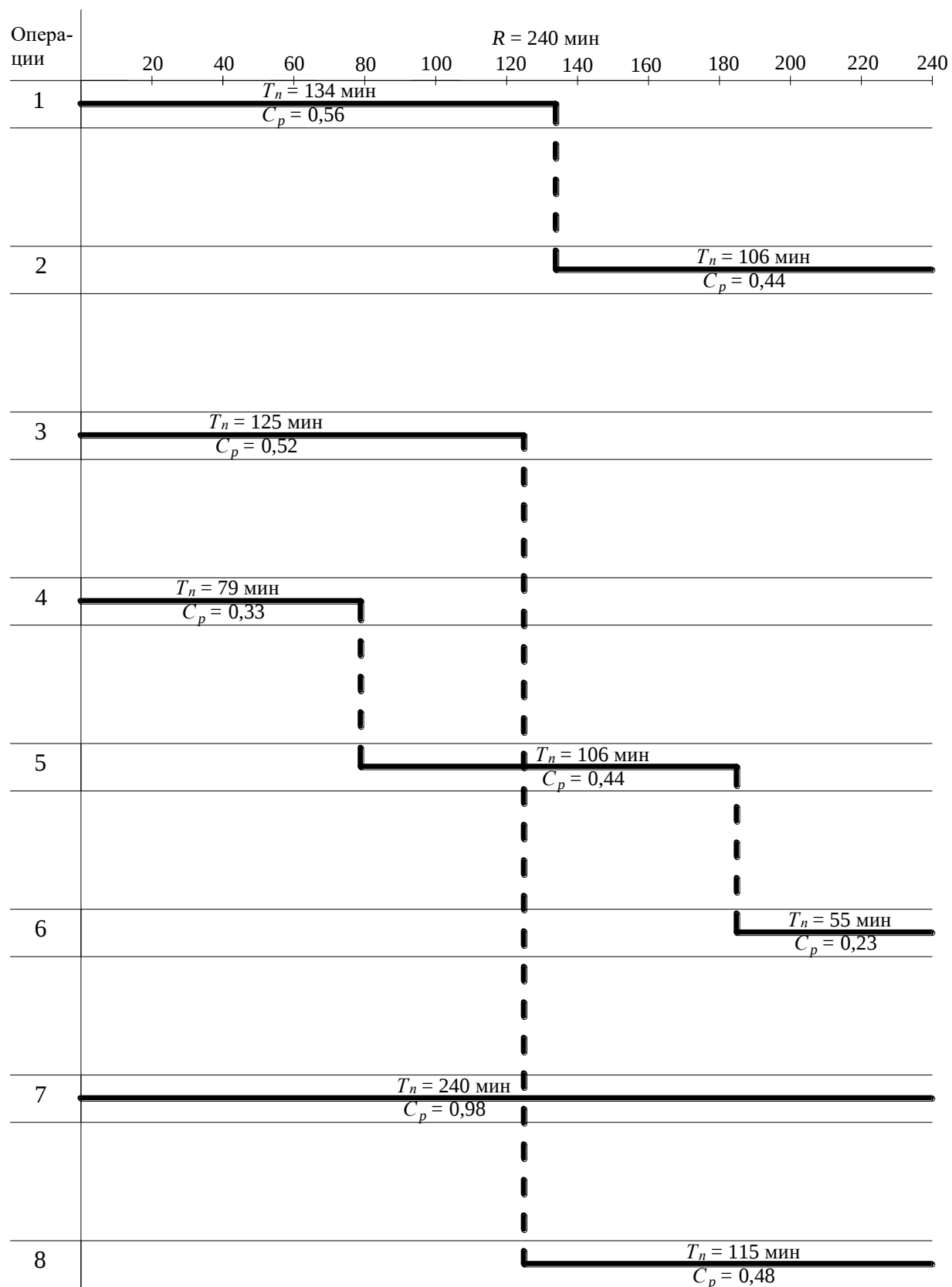


Рисунок 9.12 – План-график работы оборудования и рабочих

5) Операция 5-6:

$$z'_{5-6} = \frac{79 \cdot 0}{2,3} - \frac{79 \cdot 0}{1,2} = 0;$$

$$z''_{5-6} = \frac{106 \cdot 1}{2,3} - \frac{106 \cdot 0}{1,2} = +46;$$

$$z'''_{5-6} = \frac{55 \cdot 0}{2,3} - \frac{55 \cdot 1}{1,2} = -46.$$

6) Операция 6-7:

$$z'_{6-7} = \frac{(240 - 55) \cdot 0}{1,2} - \frac{(240 - 55) \cdot 1}{5,1} = -36;$$

$$z''_{6-7} = \frac{55 \cdot 1}{1,2} - \frac{55 \cdot 1}{5,1} = +36.$$

7) Операция 7-8:

$$z'_{7-8} = \frac{(240 - 115) \cdot 1}{5,1} - \frac{(240 - 115) \cdot 0}{2,5} = +24;$$

$$z''_{7-8} = \frac{115 \cdot 1}{5,1} - \frac{115 \cdot 1}{2,5} = -24.$$

Результаты расчётов отложим на построенном ранее плане-графике работы оборудования и рабочих в виде эпюр между соответствующими операциями. При этом задел со знаком «+» означает, что к началу периода  $T_{n1}$  задел равен 0, а за период  $T_n$  он возрастает до максимума. Задел со знаком «-» показывает, что для одновременной работы станков на смежных операциях в период  $T_{n2}$  необходимо к началу периода создать задел максимальной величины (рис. 9.13).

Исходные данные к типовой задаче приведены в табл. 9.5.

Таблица 9.5 – Исходные данные к типовой задаче №5

| № операции         | № варианта |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    | 1          | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10   | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
| 1                  | 3,2        | 3,5 | 3,8 | 4,1 | 4,4 | 4,6 | 4,9 | 5,2 | 5,5 | 5,8  | 2,6 | 2,3 | 3,1 | 3,4 | 3,1 | 3,7 | 4,0 | 4,3 | 4,6 | 4,9 |
| 2                  | 2,5        | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 4,1 | 4,4 | 4,6  | 2,1 | 1,8 | 2,7 | 2,5 | 2,7 | 2,7 | 2,5 | 3,2 | 3,4 | 2,7 |
| 3                  | 2,9        | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,1 | 4,3 | 4,6 | 4,9 | 5,1 | 5,4  | 2,4 | 2,2 | 3,5 | 3,2 | 2,9 | 3,5 | 3,5 | 4,0 | 4,3 | 4,5 |
| 4                  | 1,9        | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,7 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | 3,4  | 1,5 | 1,3 | 2,3 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 2,3 | 2,3 | 2,5 | 2,0 |
| 5                  | 2,5        | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 4,1 | 4,4 | 4,6  | 2,1 | 1,8 | 3,4 | 2,7 | 2,5 | 2,9 | 2,5 | 3,4 | 3,6 | 3,9 |
| 6                  | 1,3        | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,4  | 1,1 | 0,9 | 1,9 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 1,4 |
| 7                  | 5,6        | 6,1 | 6,6 | 7,1 | 7,6 | 8,2 | 8,7 | 9,2 | 9,7 | 10,2 | 4,6 | 4,0 | 8,6 | 6,1 | 5,6 | 6,6 | 7,1 | 7,6 | 8,1 | 8,6 |
| 8                  | 2,8        | 3   | 3,3 | 3,5 | 3,8 | 4   | 4,3 | 4,5 | 4,8 | 5    | 2,3 | 2   | 4,5 | 2,7 | 3   | 3   | 2,7 | 3,5 | 3,7 | 3   |
| Суточная программа | 160        | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 155 | 165  | 175 | 185 | 195 | 205 | 215 | 225 | 170 | 180 | 190 | 200 |

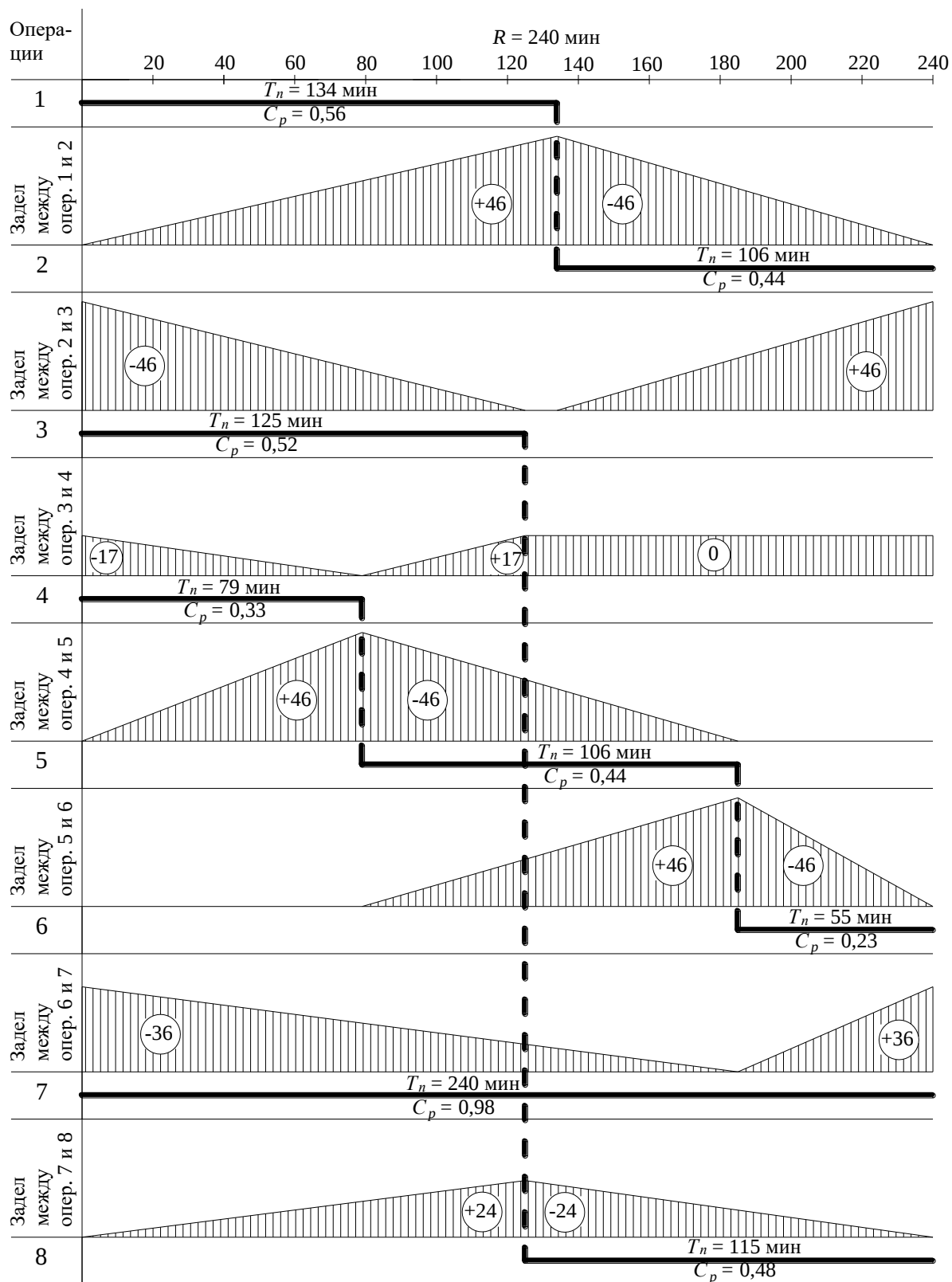


Рисунок 9.13 – График передвижения межоперационных заделов

## Практическое занятие №15 «Основы организации многопредметных переменного-поточных и групповых поточных линий»

### 1. Многопредметные переменного-поточные линии

На многопредметных поточных линиях осуществляется поочередное или смешанное изготовление нескольких типоразмеров изделий. В первом случае изделия изготавливаются партиями, поэтому существенным признаком является наличие или отсутствие переналадки оборудования при смене на линии партий деталей (заготовок). По этому признаку различают переменного-поточные (последовательно-партионные) и групповые многопредметные потоки. То, что многопредметные потоки совмещают все преимущества поточного производства с достаточной степенью гибкости, позволяет считать их наиболее перспективной ветвью развития поточного производства. Обычно область использования таких линий – это изготовление разнообразных модификаций одного изделия. Пример тому – сборочные линии автомобильных заводов.

Многопредметной поточной линией с последовательно-партионным чередованием предметов, или переменного-поточной, называется линия, на которой обрабатываются или собираются изделия различных наименований (типоразмеров) последовательно чередующимися во времени партиями, сменяющимися по всем операциям одновременно или за сравнительно короткий отрезок времени. В каждый момент времени на такой линии изготавливаются изделия только какого-либо одного наименования, за исключением периода смены изделий. Для перехода к следующей партии требуется переналадка оборудования. В период изготовления изделий одного наименования переменного-поточная линия работает как однопредметная непрерывная (ОНПЛ) или прерывная (ОППЛ), в зависимости от обеспечения синхронизации операций. Изготовление и выпуск изделий с переменного-поточной линии происходит не по единому ритму, а в соответствии с частными ритмами. Частным ритмом называется средний одинаковый интервал времени, через который должны запускаться/выпускаться с переменного-поточной линии предметы соответствующего наименования в период их изготовления на линии.

Обычно за переменного-поточными линиями закрепляются от 2 до 10 наименований конструктивно подобных изделий, обрабатываемых по единому типовому технологическому процессу. Чтобы при смене изделий общее число рабочих мест на операциях линии не изменялось, необходимо распределять фонд времени работы линии за период пропорционально трудоемкости изготовления запланированных к выпуску изделий:

$$F_i = \frac{F_{\text{эф}} N_i^{\text{вып}} T_i^{\text{шт.}}}{\sum_{i=1}^K N_i^{\text{вып}} T_i^{\text{шт.}}}.$$

Тогда частный ритм  $r_i$  определится по формуле:

$$r_i = \frac{F_{\text{эф}} T_i^{\text{шт.}}}{\sum_{i=1}^{K_L} N_i^{\text{вып}} T_i^{\text{шт.}}}$$

где  $F_{\text{эф}}$  – эффективный фонд времени работы линии на горизонте планирования, часов;

$N_i^{\text{вып}}$  – программа выпуска изделий  $i$ -го наименования за тот же период, шт.;

$T_i^{\text{шт.}}$  – сумма норм штучного времени изготовления предмета  $i$ -го наименования по всем операциям линии, часов.

Если удалось подобрать детали с примерно равной длительностью выполнения технологических операций, то такая линия может работать с единым ритмом для всех деталей:

$$r_{\text{л}}^{\text{ср}} = \frac{F_{\text{эф}}(1 - K_{\text{пер}})}{\sum_{i=1}^{K_L} N_i^{\text{вып}}},$$

а если при этом выполняется условие синхронизации операций, то линия представляет собой МНГШ. (Здесь формула расчета единого ритма уточнена за счет введения коэффициента потерь времени на переналадку линии  $K_{\text{пер}}$ ). Причем для обеспечения равенства всех частных ритмов необходимо общий фонд времени работы линии распределять между изделиями уже по другому принципу – пропорционально объемам их выпуска, т.е.

$$F_i = \frac{F_{\text{эф}} N_i^{\text{вып}}}{\sum_{i=1}^{K_L} N_i^{\text{вып}}}.$$

Отметим, что все же необходимо по возможности стремиться к равенству частных ритмов. Идеальная организация МНПЛ предполагает сквозную синхронизацию, т.е. синхронизацию операций при изготовлении всех изделий, закрепленных за линией. Это позволяет существенно снизить затраты времени на ее переналадку за счет сохранения постоянных значений таких ведущих характеристик, как скорость и шаг конвейера. Поскольку в каждый момент времени на переменнo-поточной линии производятся изделия только какого-либо одного наименования, организация ее работы не отличается от организации работы ОНПЛ, усложнение связано лишь с самим процессом чередования изделий.

Здесь возникает несколько проблем:

- 1) организация смены изделий на линии;
- 2) обеспечение возможности изготовления изделий со сходными технологическими маршрутами;
- 3) определение оптимального порядка запуска партий в производство.

Представление об организации смены изделий на линии дают рис. 9.14 и 9.15.

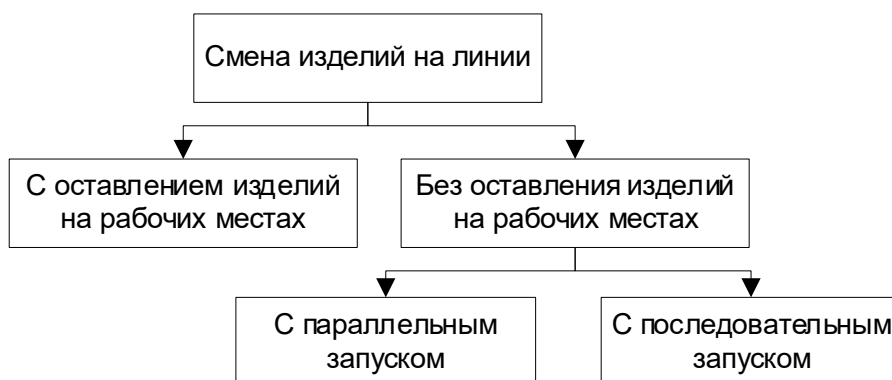


Рисунок 9.14 – Классификация способов смены изделий на МНПЛ

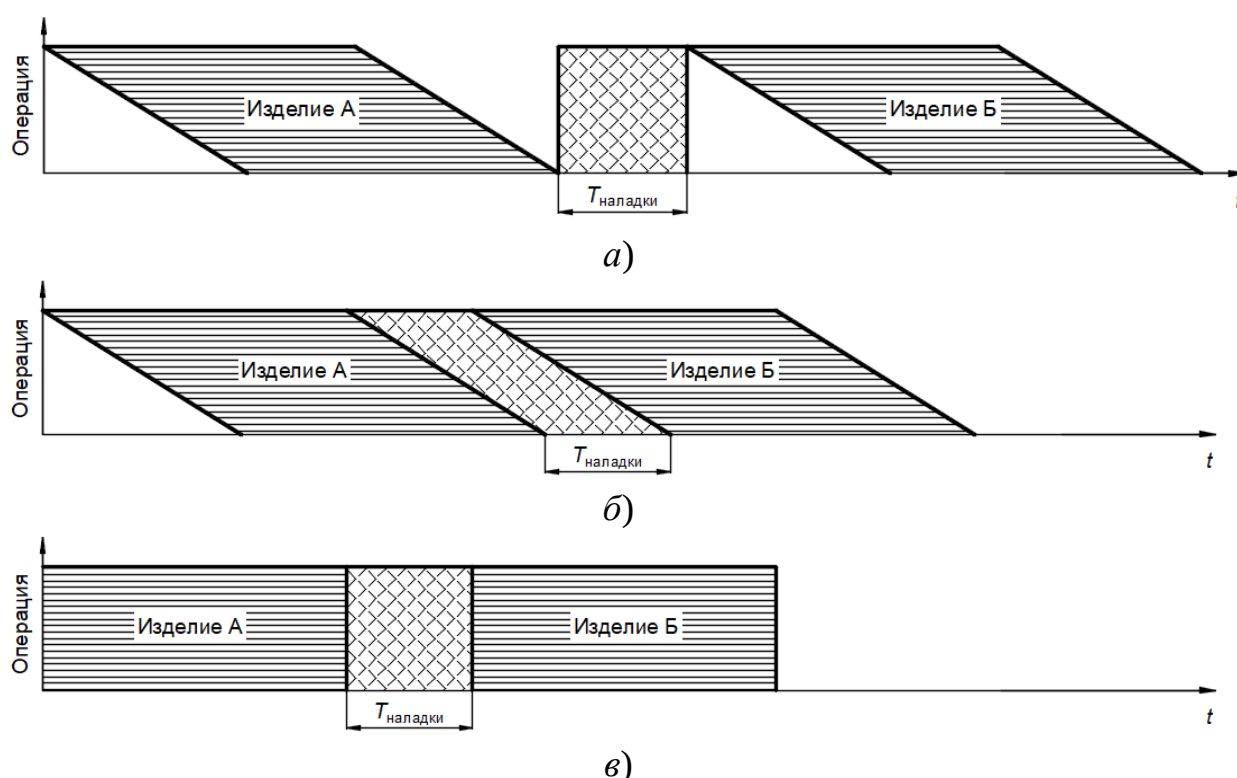


Рисунок 9.15 – Организация смены изделий на линии:

*а* – без оставления изделий и с последовательным запуском; *б* – то же, но с параллельным запуском; *в* – с оставлением изделий на рабочих местах

Из рис. 9.15 видно, что первый способ прост в организации, но приводит к значительным простоям рабочих мест. Второй способ исключает простои, но сложен в организации, так как на работающем конвейере одновременно находятся изделия снимаемой и запускаемой партий. В результате изделия могут быть смешаны, кроме того, постоянно работающий конвейер нельзя остановить для переналадки. Третий способ на первый взгляд кажется идеальным, однако он связан с необходимостью хранения на каждом рабочем месте частично изготовленных изделий всех снятых к этому моменту партий, что требует дополнительных мест складирования и увеличивает заделы незавершенного производства.

Изготовление различных изделий на МНПЛ может быть сопряжено с необходимостью частичного изменения реализуемых технологических процессов, т.е. с переходом к сходным технологическим процессам. Для этого на линии должно быть зарезервировано некоторое число рабочих мест, часть из которых при изготовлении конкретного изделия использоваться не будет (рис. 9.16).

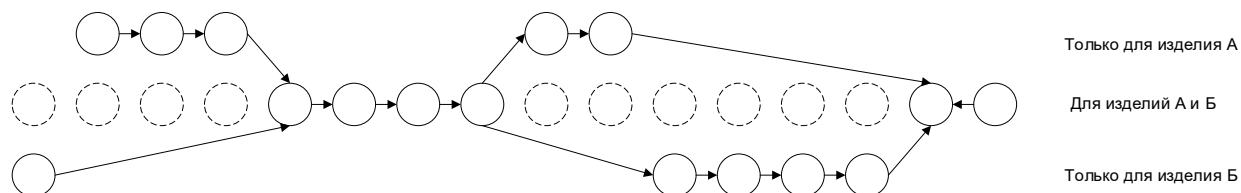


Рисунок 9.16 – Организация изготовления на МНПЛ двух типов изделий со сходными технологическими маршрутами

При переналадке линии на новое изделие нужные рабочие места должны быть «расконсервированы», а ненужные, наоборот, – «законсервированы», что, естественно, потребует дополнительных затрат времени. Консервация рабочих мест приводит к добавлению на конвейере некоторого числа транспортных зон и транспортных позиций и тем самым увеличивает общую длину его рабочей части. Все это – плата за гибкость МНПЛ.

Рассмотрим третью проблему, возникающую в связи с переналадкой переменнo-поточной линии. Пусть на МПЛ в плановом периоде должно быть изготовлено  $K_d$  различных партий изделий. Время переналадки линии  $t_{наlij}$  зависит от чередования снимаемой ( $i$ ) и запускаемой ( $j$ ) партий, а время изготовления каждой партии от этого не зависит. Тогда для минимизации времени изготовления на МПЛ всей запланированной продукции необходимо отыскать такую последовательность запуска партий в обработку, при которой суммарное время переналадки будет наименьшим, т.е.  $\sum t_{наlij} \Rightarrow \min$ . Эта задача носит название задачи о переналадке поточной линии. Она сводится к постановке известной с конца XIX в. задачи, называемой задачей о коммивояжере.

Странствующий торговец должен посетить  $K$  городов, побывав в каждом всего один раз. Расстояния между городами (время или стоимость переходов) известны. Необходимо найти оптимальный маршрут обхода городов, минимизирующий суммарные затраты на переходы.

Решение может быть найдено прямым перебором  $K!$  вариантов или с помощью методов целочисленного линейного программирования. Однако существует более простой и, как правило, более быстрый способ отыскания решения. Это метод ветвей и границ. Полученное при такой постановке задачи оптимальное решение не будет связано со сроками подачи изделий на сборку. Если в качестве критерия использовать выполнение именно этих сроков, то методы ее решения окажутся существенно сложнее.

## 2. Многопредметные групповые поточные линии

Многопредметные групповые поточные линии (МГПЛ) – это такие линии, на которых технологически родственные изделия, составляющие группу, изготавливаются практически без переналадки оборудования. Это достигается за счет применения на каждой операции групповой наладки, позволяющей изготавливать любую единицу продукции группы, закрепленной за данной линией. Если на такой линии обеспечивается выполнение условия синхронизации операций, то может быть организована непрерывная групповая поточная линия, которая не будет отличаться от ОНПЛ. В противном случае групповая поточная линия может рассматриваться условно как однопредметная прерывная линия (ОППЛ).

При обработке деталей каждого наименования самостоятельными партиями групповая поточная линия превращается в партионно-групповую. Партионно-групповые линии представляют собой линии, на которых обработка или сборка изделий производится партиями, последовательно чередующимися и сменяющимися по операциям в различные периоды времени. Если партии небольшие, то в каждый момент времени на различных операциях могут обрабатываться или собираться изделия различных наименований. Изготовление партий изделий происходит на каждой операции непрерывно. Передача изделий с операции на операцию производится транспортными (передаточными) партиями различного размера: от единицы продукции до полного размера партии обработки. Партионно-групповые поточные линии близки по организации к предметно-замкнутым участкам с однотипными или одинаковыми технологическими маршрутами изготовления изделий.

Применяются МГПЛ, как правило, для обработки значительного числа типоразмеров конструктивно подобных деталей на металлорежущих станках с групповой наладкой. Для организации МГПЛ необходимо выполнить классификацию и подбор деталей со сходными конструктивно-технологическими признаками и разработать групповой технологический процесс на деталь-представитель или на комплексную деталь. Число типоразмеров деталей, закрепляемых за линией, должно быть таким, чтобы обеспечить полную загрузку оборудования и рабочих на линии. Укрупненный расчет МГПЛ включает следующую последовательность действий.

1. Расчет приведенной годовой программы выпуска деталей. Вся номенклатура деталей, закрепленных за МГПЛ, приводится к детали-представителю. В качестве последней выбирается деталь, отражающая все характерные конструктивно-технологические особенности деталей группы. Пример расчета приведенной годовой программы выпуска показан в табл. 9.6.

Таблица 9.6 – Расчет приведенной годовой программы выпуска деталей

| Наименование детали                 | Программа выпуска, шт. | Трудоемкость, мин. | Коэффициент приведения | Приведенная программа выпуска, шт. |
|-------------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------------|
| Вал                                 | 50                     | 18,4               | 0,93                   | 46                                 |
| Вал-шестерня                        | 50                     | 26,8               | 1,36                   | 68                                 |
| Ось                                 | 78                     | 59,2               | 3,00                   | 234                                |
| Вал фрикционный                     | 150                    | 43,8               | 2,22                   | 333                                |
| Вал шлицевой (деталь-представитель) | 180                    | 19,7               | 1,00                   | 180                                |
| Итого                               | 508                    |                    |                        | 861                                |

Для деталей, входящих в группу, рассчитывается коэффициент приведения как отношение трудоемкости каждой детали к трудоемкости детали, выбранной в качестве представителя. Если заданы только деталь-представитель и число деталей в группе, приведенная программа рассчитывается как произведение годового выпуска детали-представителя и числа деталей в группе.

2. Определение ритма работы групповой поточной линии. МГПЛ организуется на базе универсальных станков или станков с программным управлением. На каждом рабочем месте применяется унифицированная групповая оснастка, позволяющая обрабатывать различные детали практически без переналадки (с минимальными затратами времени на переналадку по сравнению со временем непосредственной обработки). Поэтому ритм такой линии может быть рассчитан по формуле:

$$r_i = \frac{F_{\text{эф}}}{N_{\text{в.пр}}},$$

где  $N_{\text{в.пр}}$  – приведенная программа выпуска деталей.

3. Определение необходимого количества оборудования. Расчет выполняется по каждой операции группового технологического процесса обработки детали-представителя:

$$q_j = \frac{t_{\text{шк}j}}{r_{\text{л}}}, j = 1, \dots, K_{\text{оп}},$$

где  $t_{\text{шк}j}$  – норма штучно-калькуляционного времени на групповую операцию  $j$ , мин.

Полученное значение  $q_j$  округляется до ближайшего большего целого числа. Затем строится график загрузки оборудования поточной линии. Средний коэффициент загрузки должен составлять 0,9-0,95.

4. Определение численности основных рабочих на линии. Расчет выполняется по операциям группового технологического процесса так же, как при расчете для предметно-замкнутого участка. Если при переходе от одного изделия производства к другому не требуется переналадка линии, то размеры партий запуска изделий в обработку могут уменьшаться в пределах до едини-

цы (поштучный запуск). На ленте конвейера при этом будут попеременно находиться разные изделия. Речь, таким образом, зашла об организации МНПЛ со сплошным запуском. Главное преимущество таких линий – повышение уровня гибкости производства. Проявляется это в том, что:

1) потребителю (другому подразделению или на рынок) продукция поступает небольшими количествами, но в том разнообразии, которое ему необходимо;

2) нет необходимости хранить большой запас произведенной продукции до тех пор, пока он будет израсходован;

3) можно оперативно корректировать номенклатуру выпускаемой продукции в соответствии с колебаниями спроса.

Кроме того, через систему «точно в срок» такие линии гарантируют равномерную загрузку обеспечивающих их производственных подразделений.

Рассмотрим расчеты, выполняемые при планировании работы МНПЛ со сплошным запуском, на примере сборочного конвейера фирмы *Toyota*.

### Пример 6

На одном из сборочных конвейеров фирмы должно быть собрано в месяц (20 рабочих дней) 12 000 машин марки *Corola*. Это задание было установлено на основе месячного прогноза продаж. В первый рабочий день месяца продавцы подали заявки на изготовление четырех модификаций машин этой марки в количественном соотношении  $A : B : C : D = 4 : 3 : 2 : 1$ , во второй день – в соотношении  $A : B : C : D = 3 : 3 : 4 : 2$ . Требуется определить ритм линии, частные ритмы изготовления всех модификаций, предложить схему их расстановки на ленте непрерывного сборочного конвейера, работающего в режиме сплошного запуска, найти скорость ленты, если шаг конвейера 6,2 м.

### Решение

Ритм линии рассчитывается исходя из наличного фонда времени ее работы в течение месяца – 320 ч (2 смены х 8 часов х 20 дней) и суммарной программы выпуска:  $r_{\text{л}} = 320 / 12000 = 1,6$  мин. Скорость движения ленты конвейера тогда составит  $V_{\text{к}} = 6,2 / 1,6 = 3,875$  м/мин.

В первый день из 600 машин следует собрать:

$600 \cdot (4/10) = 240$  машин (модификация *A*);

$600 \cdot (3/10) = 180$  машин (модификация *B*);

$600 \cdot (2/10) = 120$  машин (модификация *C*);

$600 \cdot (1/10) = 60$  машин (модификация *D*);

Тогда частные ритмы составят:

$16 \cdot 60/240 = 4,0$  мин (модификация *A*);

$16 \cdot 60/180 = 5,3$  мин (модификация *B*);

$16 \cdot 60/120 = 8,0$  мин (модификация *C*);

$16 \cdot 60/60 = 16,0$  мин (модификация *D*);

Число машин в цикле – 10; время цикла –  $1,6 \cdot 10 = 16$  мин.

Варианты расстановки машин одного цикла на ленте:

*C-A-B-A-C-A-B-A-C-D* или *A-A-A-A-B-B-B-C-C-D*.

Во второй день число машин в цикле – 12; время цикла –  $1,6 \cdot 12 = 19,2$  мин. Частные ритмы изменятся:

$(960 \cdot 12)/(600 \cdot 3) = 6,4$  мин (модификации *A* и *B*);

$(960 \cdot 12)/(600 \cdot 4) = 4,8$  мин (модификация *C*);

$(960 \cdot 12)/(600 \cdot 2) = 9,6$  мин (модификация *D*).

Варианты расстановки машин одного цикла на ленте:

*A-A-A-B-B-B-C-C-C-C-D-D* или *A-B-C-D-A-B-C-D-A-B-C-C*.

При организации МНПЛ со сплошным запуском в качестве дополнительной сложности можно назвать повышенные требования к профессиональной подготовке рабочих и к оснащению рабочих мест, где в произвольном порядке изготавливаются пусть однотипные, но все же разные изделия.

### Контрольные вопросы и задания

1. Приведите классификацию поточных линий и дайте полную характеристику каждого вида.

2. Назовите пути синхронизации операций при организации ОНПЛ.

3. На ОНПЛ установили рабочий непрерывный конвейер с шагом 0,6 м. Рабочие места расположены по обе стороны ленты в шахматном порядке, причем расстояние между смежными рабочими местами по одну сторону составляет 1,5 м. Рабочая поза – «сидя». Число операций на потоке – 42. Линия работает в две смены, каждый час регламентированный перерыв 5 мин. За сутки на линии планируется изготовление 1760 изделий. Средняя себестоимость одного изделия в процессе его изготовления на линии составляет 26,8 руб., а средняя масса – 0,403 кг. Найдите ритм линии, скорость ленты и общую длину рабочей части конвейера, суммарную нагрузку на ленту, объем незавершенного производства изделий на линии. Укажите длину рабочей и транспортной зон. Постройте график движения изделий на линии.

4. Тракторный завод должен выпустить в планируемом месяце (21 рабочий день) 4835 тракторов. Его сборочный конвейер движется с постоянной скоростью 2,6 м/мин. Рабочие, выполняя сборку, движутся вслед за конвейером, а затем возвращаются обратно в начало их рабочей зоны со скоростью 4 км/ч. Рабочие зоны разделены транспортными зонами по 1,6 м каждая, которые в случае необходимости играют роль резервных зон. На конвейере выполняются 216 операций. Организованы четыре проезда по 5,2 м. Завод работает в двухсменном режиме. Регламентированные перерывы на сборочном конвейере не предусмотрены. Техобслуживание выполняется в нерабочее время. Рассчитайте ритм выпуска тракторов, шаг сборочного конвейера, длину рабочей зоны (без резервной части), общую длину рабочей части конвейера, число тракторов, одновременно находящихся в сборке, полное время сборки одного трактора. Определите, насколько должна измениться скорость возврата рабочего в начало его рабочей зоны, если время выполнения им операции изменится на  $\pm 3\%$ .

5. Однопредметная непрерывная поточная линия сборки работает в две смены. В планируемом месяце 20 рабочих дней. Регламентированные пере­рывы на отдых рабочих составляют 6 мин каждый час. Техобслуживание вы­полняется в нерабочее время. Месячная программа сборки – 6900 шт. На ли­нии установлен непрерывный распределительный конвейер с шагом 0,5 м. Расположение рабочих мест по одну сторону ленты с шагом 4 м. На линии выполняется шесть операций со следующим штучным временем:  $t_{шт} = 2,1; 2,2; 4,7; 11,4; 2,2; 2,0$  (мин./шт.). Время установки (снятия) изделия с ленты конвейера – 0,2 мин. Определите ритм линии, число рабочих мест на опера­циях, число периода конвейера и номера периода, закрепленные за каждым рабочим местом; длину рабочей части конвейера, суммарную нагрузку на ленту конвейера, если средняя масса изделия 4,8 кг; объем незавершенного производства на линии, если средняя себестоимость собираемых изделий со­ставляет 162,4 руб.; скорость конвейера, полную длину замкнутой ленты конвейера, если диаметр обводных барабанов 0,9 м. Составьте графическую модель работы линии.

6. Постройте эпюры межоперационных оборотных заделов на ОППЛ механической обработки деталей и рассчитайте максимальные значения внутренних заделов и величины переходящих заделов для каждой пары смежных операций. Рассчитайте средние значения всех оборотных заделов. Линия работает с расчетным ритмом 2,1 мин. Период ее оборота – 4 ч. Ре­гламент работы представлен на рис. 9.17.

7. Решите задачу 6 со следующими исходными данными: период оборо­та линии – 8 ч, величина оборотной партии – 160 шт. Регламент работы ли­нии приведен на рис. 9.18.

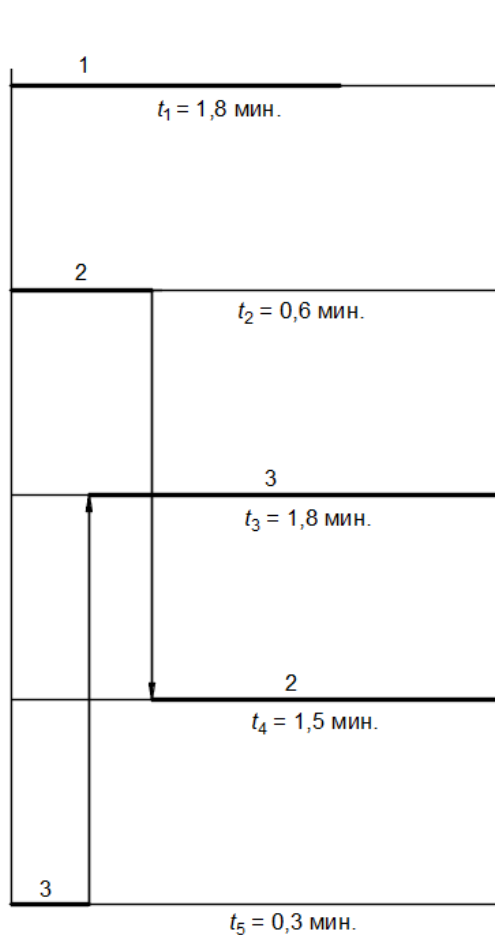


Рисунок 9.17 – Регламент работы ОППЛ (к задаче 6)

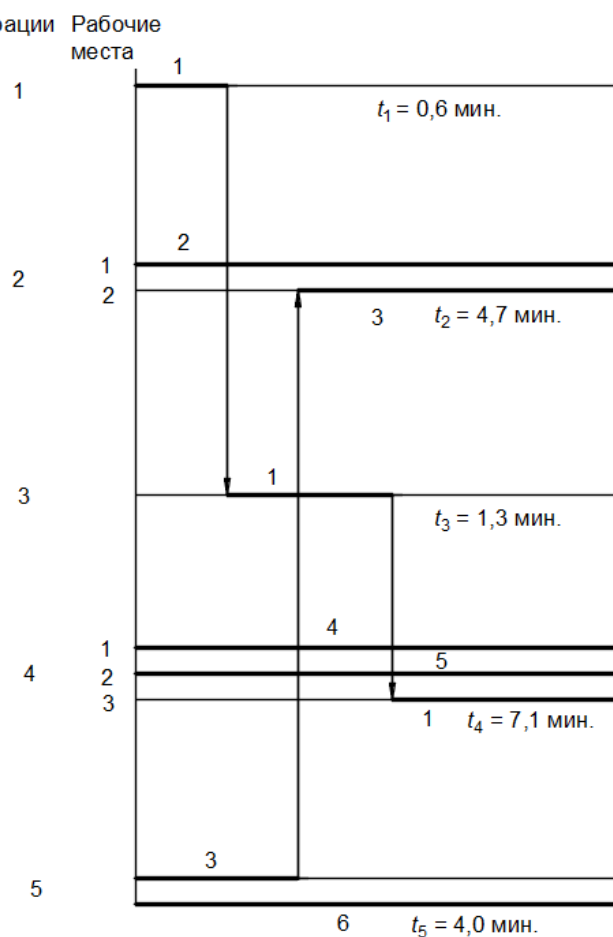


Рисунок 9.18 – Регламент работы ОППЛ (к задаче 7)

## 10. УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

### 10.1. ABC-анализ

Это приложение к области управления запасами подхода, известного как принцип Парето. Подход Парето указывает на то, что в некотором множестве реальных объектов обычно имеется критическое меньшинство и тривиальное большинство.

Идея состоит в том, чтобы сконцентрировать ресурсы управления на критическом меньшинстве объектов, оставляя минимум внимания тривиальному большинству. *ABC*-анализ позволяет разделить запасы на три классификационные группы на основе какой-либо их характеристики. Это может быть:

- количество ресурса данного наименования, прошедшее через склад за период (год, квартал и т.д.) в натуральных измерителях (штуки, тонны, м<sup>3</sup> и т.п.);
- то же, но в стоимостном измерении.

Класс *A* наименований запасов – это тот, на который приходится высокое годовое количество складироваемых ресурсов. Эти наименования запасов могут составить только 5...10% от общего числа наименований, но они дают 70...80% общего количества запасов в натуральных или стоимостных измерителях.

Класс *B* – это тот запас, на который приходится средняя величина годового объема складирования. Эти наименования могут составить около 20% от их общего числа и 15...20% общего объема складирования. Остальные запасы с низким объемом хранения образуют класс *C*. Они составляют примерно 5% годового объема складирования, но 70...80% наименований от их общего числа.

Вариант *ABC*-анализа проиллюстрируем на примере.

#### Пример 1

Предприятие производит быстродействующие электронные блоки (чипы). Оно имеет запасы 10 наименований комплектующих изделий, используемых при изготовлении чипов. Требуется разбить номенклатуру запасов на три группы по параметру годового рублевого оборота. В табл. 10.1 приводятся данные по движению запасов на складе за отчетный год, или *ABC*-калькуляция.

Для решения задачи выполняются следующие действия:

- исходные данные заносятся в графы 1, 2 и 5;
- производится расчет значений в графах 3, 6 и 7;
- строки таблицы ранжируются в порядке убывания значений в графе 7;
- накопленные итоги значений из графы 7 анализируются на удовлетворение условиям *ABC*-подхода; если удовлетворяют, то формируются графы 4, 8 и 9.

Таблица 10.1 – ABC-калькуляция

| Изделие   | Годовой оборот, ед. | Удельный вес, % |      | Цена единицы, руб. | Годовой оборот, руб. | Удельный вес, % |      | Класс |
|-----------|---------------------|-----------------|------|--------------------|----------------------|-----------------|------|-------|
| 1         | 2                   | 3               | 4    | 5                  | 6                    | 7               | 8    | 9     |
| MT10286   | 1000                | 11,7            | 17,5 | 90,00              | 90000                | 38,8            | 72,0 | A     |
| M11526.01 | 500                 | 5,8             |      | 154,00             | 77000                | 33,2            |      | A     |
| MT12760   | 1550                | 18,1            | 33,9 | 17,00              | 26350                | 11,4            | 23,1 | B     |
| Y10867.21 | 350                 | 4,1             |      | 42,86              | 15001                | 6,5             |      | B     |
| MT10500   | 1000                | 11,7            |      | 12,50              | 12500                | 5,2             |      | B     |
| Y12572.13 | 600                 | 7,0             | 48,6 | 14,17              | 8502                 | 3,7             | 4,9  | C     |
| Y1407504  | 2000                | 23,4            |      | 0,60               | 1200                 | 0,5             |      | C     |
| C010306   | 100                 | 1,2             |      | 8,50               | 850                  | 0,4             |      | C     |
| C01307    | 1200                | 14,1            |      | 0,42               | 504                  | 0,2             |      | C     |
| MT10572   | 250                 | 2,9             |      | 0,60               | 150                  | 0,1             |      | C     |
|           | 8550                | 100             | 100  |                    | 232 075              | 100             | 100  |       |

Для решения задачи может быть использован другой критерий: вместо годового объема в рублях – оборот в штуках. Тогда ранжируются значения графы 3, а анализируются на удовлетворение условиям ABC-подхода накопленные итоги значений из графы 4. Такой критерий может быть полезен, если складываются громоздкие грузы, требующие применения специальной транспортно-погрузочной техники, размещение которой на территории склада вызывает затруднения.

Политика, базирующаяся на итогах ABC-анализа, состоит в следующем:

1) прогнозирование потребности в ресурсах группы A должно выполняться более тщательно, чем остальных групп;

2) закупки ресурсов группы A у более надежных поставщиков, чем группы C;

3) ресурсы группы A в противоположность группам B и C должны подвергаться более тщательному контролю при складировании и по возможности размещаться в наиболее надежных местах;

4) точность учета изделий группы A должна быть выше и должна подвергаться более частым проверкам.

Подход к управлению запасами, известный как ABC-анализ обеспечивает более тщательное прогнозирование, физический контроль, надежность поставок и максимальную надежность учета и сохранность наиболее значимых (критических для организации) ресурсов.

## 10.2. Учет

Точность ведения учета является действенной составляющей производственного (операционного) менеджмента и системы контроля движения запасов. Политика управления запасами мало чего стоит, если менеджмент не

знает, какими запасами располагает. Точный учет позволяет организациям выйти из состояния «частичного знания» того, что происходит в оперирующих системах, в том числе при управлении запасами, позволяет принимать обоснованные решения относительно планирования заказов и перевозок, фокусировать внимание только на тех наименованиях ресурсов, которые действительно наиболее необходимы.

Даже если организация прилагает существенные усилия к созданию системы точного учета движения запасов, правильность учетных записей должна периодически подтверждаться аудиторскими проверками или инвентаризациями. Исторически сложилось так, что многие организации проводят инвентаризации своих физических запасов один раз в год. В ходе процедуры инвентаризации подсчитывается количество единиц ресурса каждого наименования, результаты сравниваются с данными текущего учета, которые подтверждаются или нет, а установленные неточности документируются. Причины выявленных отклонений затем анализируются, а соответствующая корректировка вводится в учетные данные. Для проведения таких работ привлекается много высококвалифицированного персонала и необходимого оборудования, которые в этот период не могут быть использованы по своему прямому назначению. Более целесообразна другая организация проведения инвентаризаций, опирающаяся на классификацию запасов, полученную в результате *ABC*-анализа. В соответствии с этим подходом:

- ресурсы, отнесенные к группе *A*, подвергаются проверке чаще всего, например, один раз в месяц;
- ресурсы группы *B* подлежат инвентаризации реже, например, один раз в квартал;
- ресурсы группы *C* могут проверяться каждые 6...12 месяцев. Приведем пример организации такой перманентной инвентаризации.

### Пример 2

Компания имеет в запасах около 5000 наименований ресурсов. После выполнения *ABC*-анализа оказалось, что 500 наименований составляют группу *A*; 1750 – *B*; 2750 – *C*.

Предложенная организация проведения перманентной инвентаризации состоит в том, чтобы наименования *A* просчитывать каждый месяц (с интервалом 20 рабочих дней), наименования *B* – каждый квартал (интервал 60 рабочих дней) и наименования *C* – каждые шесть месяцев (120 рабочих дней). Рассчитаем, сколько наименований должны подлежать инвентаризации каждый день, и результаты расчета отразим в табл. 10.2.

Таблица 10.2 – Расчёт инвентаризации

| Группа наименований | Количество | Политика проведения расчетов        | Число наименований для просчета каждый день |
|---------------------|------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| А                   | 500        | Каждый месяц (20 рабочих дней)      | $500/20 = 25$                               |
| В                   | 1750       | Каждый квартал (60 рабочих дней)    | $1750/60 = 29$                              |
| С                   | 2750       | Каждые 6 месяцев (120 рабочих дней) | $2750/120 = 23$                             |
| Итого               | 5000       |                                     | 77                                          |

Перманентная инвентаризация дает следующие преимущества:

- 1) предохраняет от перебоев в удовлетворении производственной потребности в ресурсах;
- 2) снимает необходимость единовременной ежегодной корректировки запасов;
- 3) обеспечивает возможность персоналу точно оценивать запасы;
- 4) выявляет причины ошибок и определяет меры по их устранению;
- 5) делает равномерной и постоянной работу специального персонала, занятого в инвентаризации.

### 10.3. Модель с дисконтированием по размеру партии поставки

На практике часто используется тип моделей, получаемый расширением параметров модели *EOQ*. Суть этой модели состоит в учете скидки (дисконта) с цены закупаемого ресурса при увеличении объема партии. В качестве исходной информации здесь дополнительно должна быть использована таблица дисконтирования, а в модель введен еще один параметр – цена ресурса. Алгоритм решения задачи представлен на рис. 10.1.

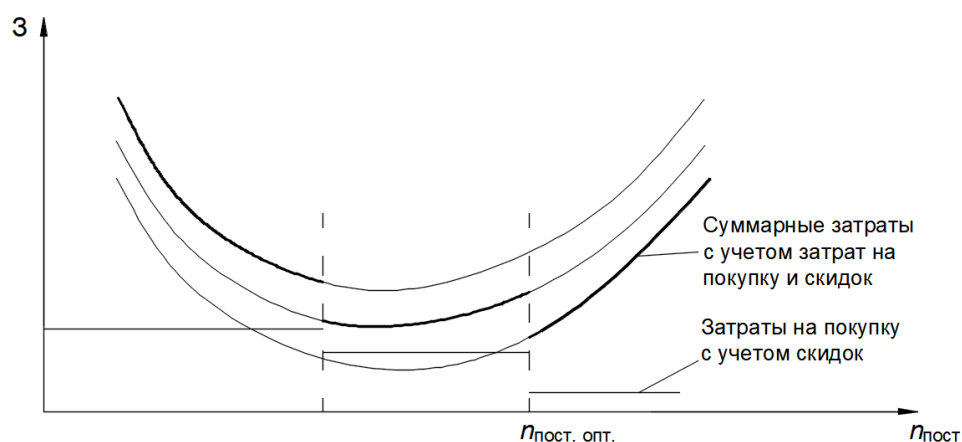


Рисунок 10.1 – Определение оптимальной партии поставки с учетом затрат на покупку ресурса и скидок

Оптимальный размер партии поставки ресурса определяется отдельно

для каждого интервала, где цена неизменна. Затем методом прямого перебора отыскивается лучший вариант, минимизирующий суммарные затраты на поставку, хранение и покупку ресурса с учетом скидки, действующей на интервале.

Можно ввести еще одно уточнение в модель. Обычно затраты на хранение единицы ресурса зависят от его цены, т. е.  $h = ic$ , где  $i$  – коэффициент, показывающий отношение затрат на хранение единицы ресурса к его цене. Учитывая то, что цена в этой модели различна на разных интервалах, корректировка параметров модели позволит получить более точное решение задачи.

Отметим, что для всех трех типов моделей, рассмотренных выше, нахождение оптимальной партии поставки автоматически ведет к установлению оптимального ритма поставки из соотношения

$$R_{\text{пост}} = \frac{n_{\text{пост}}}{I}.$$

### Пример 3

Предприятие-поставщик установило следующие цены на свою продукцию – листовую сталь с учетом системы оптовых скидок:

- до 1000 листов – 180,0 руб./лист;
- от 1000 до 5000 листов – 175,0 руб./лист;
- 5000 листов и более – 172,5 руб./лист.

Затраты на заказ у предприятия-потребителя стали составляют 450 руб., текущие затраты на ее хранение – 36 руб./год за лист – практически не зависят от цены листа, годовая потребность – 10 000 листов. Требуется определить размер оптимальной партии закупки стали с учетом скидок.

*Решение*

Начнем с классического расчета оптимальной партии поставки:

$$n_{\text{пост.опт}} = \sqrt{\frac{2D \cdot S}{h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10000 \cdot 450}{36}} = 500 \text{ листов.}$$

Как видим, оптимальная партия попадает в первый ценовой интервал. Это значит, что меньшие суммарные затраты могут быть только на границах – в начале второго или третьего ценовых интервалов. Проверим эти точки, для чего рассчитаем в них суммарные затраты на заказ, приобретение и хранение стали. Суммарные затраты определяются по формуле:

$$Z = \frac{n_{\text{пост}} \cdot h}{2} + \frac{D \cdot S}{n_{\text{пост}}}.$$

Они составят:

1) при закупке материала оптимальными партиями по 500 листов

$$Z = \frac{500 \cdot 36}{2} + \frac{10000 \cdot 450}{500} + 10000 \cdot 180 = 1818000 \text{ руб.}$$

2) при закупке по 1000 листов (нижняя граница второго интервала)

$$Z = \frac{1000 \cdot 36}{2} + \frac{10000 \cdot 450}{1000} + 10000 \cdot 175 = 1772500 \text{ руб.}$$

3) при закупке по 5000 листов (нижняя граница третьего интервала)

$$Z = \frac{5000 \cdot 36}{2} + \frac{10000 \cdot 450}{5000} + 10000 \cdot 172,5 = 1815900 \text{ руб.}$$

Таким образом, при закупках стали оптимальными партиями, расчет величины которой был выполнен обычным путем, затраты окажутся выше, чем при закупках партиями большего размера, ввиду того, что скидки оказывают существенное влияние на общую сумму затрат. Расчет показывает, что из двух граничных точек следует выбрать минимальный размер партии на втором интервале, т.е.  $n_{\text{пост}} = 1000$  листов.

#### 10.4. Модель управления запасами с фиксированной партией поставки

Пусть интенсивность потребления ресурса со склада изменяется, с равной вероятностью принимая любое значение в интервале  $(I_{\min}, I_{\max})$ ; время исполнения заказа  $T_{\text{пост}}$  и размер партии поставки  $n_{\text{пост}}$  зафиксированы, например, договором с поставщиком ресурса. Управляющим параметром в этой модели является остаточный уровень запаса на складе. Уровень запаса, при котором должен быть сделан заказ очередной партии, называется точкой заказа  $H_{\text{тз}}$ . Точка заказа рассчитывается исходя из удовлетворения требования: склад должен обеспечивать бездефицитное снабжение потребителей в течение всего срока между моментами заказа и поставки очередной партии. Это возможно лишь в случае, если при расчете предположить худший вариант, т.е. максимальную интенсивность потребления ресурса на весь этот период. Тогда

$$H_{\text{тз}} = T_{\text{пост}} \cdot I_{\max}.$$

Уровень запаса, который остается на складе к моменту поставки очередной партии при средней интенсивности потребления ресурса, но расходуется при интенсивности выше средней, называется резервным запасом. Его значение  $H_{\text{рез}}$  рассчитывается так:

$$H_{\text{рез}} = H_{\text{тз}} - T_{\text{пост}} \cdot I_{\text{ср}} = T_{\text{пост}} \left( \frac{I_{\max} - I_{\min}}{2} \right),$$

где  $I_{\text{ср}} = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2}$ .

Циклы потребления (поставки) при этом способе управления имеют разную продолжительность вследствие меняющейся интенсивности потребления. Еще одним важным параметром управления является максимальная величина запаса, определяющая необходимую для хранения емкость склада. Она рассчитывается по формуле:

$$H_{\text{скл}} = H_{\text{тз}} - T_{\text{пост}} \cdot I_{\min} + n_{\text{пост}} = T_{\text{пост}}(I_{\max} - I_{\min}) + n_{\text{пост}}.$$

Отметим важную особенность этого способа управления. Не имеет значения, по какой траектории снижается запас до уровня  $H_{\text{тз}}$ . Важен лишь характер расходования ресурса в течение срока поставки: максимальная интен-

сивность в течение всего срока  $T_{\text{пост}}$  определяет  $H_{\text{тз}}$  и  $H_{\text{рез}}$ , минимальная – значение  $H_{\text{скл}}$ . Отсюда следует, что при этом способе управления надежную работу склада обеспечивает резервирование запаса именно на интервале  $T_{\text{пост}}$ . Снижение уровня запаса ресурса на складе в общем случае представлено графиком кусочно-линейной функции, так как для каждого элементарного временного участка (день, неделя и т.д.) характерны свое значение интенсивности потребления (при соблюдении ограничения ( $I_{\text{max}} \geq I \geq I_{\text{min}}$ ) и свой угол наклона отрезка прямой, отражающего потребление ресурса на этом участке.

На рис. 10.2 представлена графическая модель, иллюстрирующая аналитические выкладки при нахождении значений  $H_{\text{тз}}$ ,  $H_{\text{рез}}$  и  $H_{\text{скл}}$ . В ней на интервалах  $T_{\text{пост}}$  показаны три характерных варианта потребления ресурса, формирующие значения параметров управления, а на остальных участках общий случай – снижение уровня запаса в виде ломаной линии. Анализ графической модели показывает, что партия поставки не должна быть меньше точки заказа, т.е.

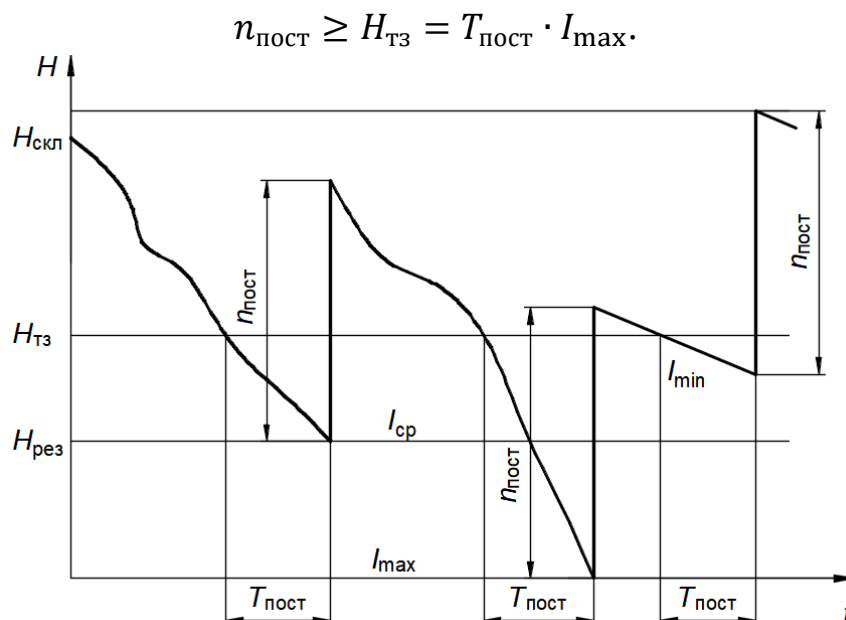


Рисунок 10.2 – Модель управления запасами при фиксированной партии поставки ресурса на склад

Кроме того, если размеры склада, отводимого под хранение данного ресурса, лимитированы, то на величину партии накладывается еще одно ограничение:

$$n_{\text{пост}} \leq H_{\text{скл}} - T_{\text{пост}}(I_{\text{max}} - I_{\text{min}})$$

При необходимости размер партии поставки должен быть скорректирован. Если это невозможно, то корректируется срок поставки. Расчет оптимальной партии выполняется так же, как и в модели EОQ; появление в рассматриваемой модели резервного запаса не влияет на методику расчета. Объясняется это тем, что резерв создается один раз, и далее его уровень автоматически поддерживается действующей моделью управления, не будучи связанным с размером партии поставки.

Пересчет параметров управления запасами ( $H_{\text{тз}}$ ,  $H_{\text{рез}}$  и  $H_{\text{скл}}$ ) выполняется только при устойчивом изменении параметров потребления ресурса со склада, т.е. значений  $I_{\text{max}}$  и  $I_{\text{min}}$ , или при заключении договора с поставщиком на новых условиях (при изменении  $n_{\text{пост}}$  и  $T_{\text{пост}}$ ). В этом случае изменение величины резервного запаса происходит за счет соответствующего увеличения или уменьшения первой партии поставки и также имеет разовый характер.

#### Пример 4

Предприятие имеет емкость для хранения запаса технологического топлива вместимостью 70 т. Ежедневное потребление топлива колеблется от 1,1 до 3,2 т. Пополнение запаса происходит железнодорожными цистернами по 60 т. Поставка топлива идет с нефтебазы; по ее требованию срок поставки должен быть максимальным из всех сроков, приемлемых для предприятия. Требуется определить срок поставки (в днях), который должен быть записан в договоре, точку заказа и резервный уровень топлива.

#### Решение

При ограниченной емкости склада срок поставки не должен превышать величины, равной  $\frac{H_{\text{скл}} - n_{\text{пост}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}$ , а с учетом того, что он должен принять максимальное целое значение, можно записать:

$$T_{\text{пост}} = \frac{H_{\text{скл}} - n_{\text{пост}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}} = \frac{70 - 60}{3,2 - 1,1} = 4,76 = 4 \text{ дн.}$$

При попытке округления результата в большую сторону до пяти дней получим необходимую емкость:

$H_{\text{скл}} = T_{\text{пост}}(I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) + n_{\text{пост}} = 5 \cdot (3,2 - 1,1) + 60 = 70,5 \text{ т,}$   
что больше емкости, которой располагает завод. Округление же в меньшую сторону дает приемлемый результат:

$H_{\text{скл}} = T_{\text{пост}}(I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) + n_{\text{пост}} = 4 \cdot (3,2 - 1,1) + 60 = 68,4 \text{ т,}$   
хотя склад при этом будет постоянно недогружен. При этом

$$H_{\text{тз}} = T_{\text{пост}} \cdot I_{\text{max}} = 4 \cdot 3,2 = 12,8 \text{ т;}$$

$$H_{\text{рез}} = T_{\text{пост}} \left( \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{2} \right) = 4 \cdot \left( \frac{3,2 - 1,1}{2} \right) = 4,2 \text{ т.}$$

### 10.5. Модель управления запасами с фиксированным ритмом поставки

Пусть, как и в предыдущей модели, заданы:  $I_{\text{max}}$ ,  $I_{\text{min}}$  и  $T_{\text{пост}}$ , а вместо партии поставки по условию договора с поставщиком зафиксирован ритм поставки  $R_{\text{пост}}$ . В такой модели управляющим параметром является время, т.е. заказ и получение очередных партий происходят через строго определенные промежутки времени. В момент заказа фиксируются текущий остаток ресурса на складе  $H_{\text{тек}}$  и средняя интенсивность потребления за цикл  $I_{\text{тек}}$  и на их основе рассчитывается величина текущей партии поставки  $n_{\text{тек}}$ , обеспечивающая за полное складом емкостью  $H_{\text{скл}}$ :

$$n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тек}} + T_{\text{пост}} \cdot I_{\text{тек}}.$$

Таким образом, размер партии поставки в этой модели – величина переменная, причем  $n_{\text{тек max}} = H_{\text{скл}}$ ;  $n_{\text{тек min}} = R_{\text{пост}} \cdot I_{\text{min}}$ .

Величину резервного запаса рассчитаем, ориентируясь на соотношение:

$$H_{\text{скл}} = R_{\text{пост}} \cdot I_{\text{max}},$$

которое означает, что емкости склада должно хватить на случай потребления ресурса с максимальной интенсивностью в течение всего цикла. Тогда

$$H_{\text{рез}} = H_{\text{скл}} - R_{\text{пост}} \cdot I_{\text{ср}} = R_{\text{пост}} (I_{\text{max}} - I_{\text{ср}}).$$

Отметим, что в предыдущей модели потребление ресурса резервируется только на сроке поставки  $T_{\text{пост}}$ , а в рассматриваемой модели – на всем цикле  $R_{\text{пост}}$ . Другими словами, резервный запас здесь увеличивается. Графическая модель этого способа управления приведена на рис. 10.3.

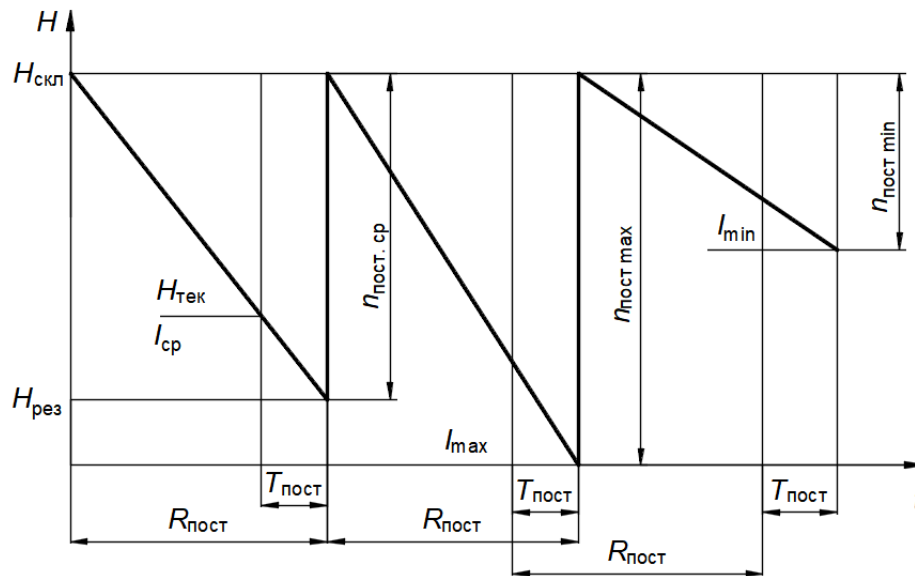


Рисунок 10.3 – Упрощенная модель управления запасом при фиксированном ритме поставки ресурса на склад

На ней показаны только нормальный ( $I_{\text{ср}}$ ), ускоренный ( $I_{\text{max}}$ ) и замедленный ( $I_{\text{min}}$ ) циклы потребления, так как именно в них формируются параметры управления, хотя в общем случае графиком снижения уровня запаса является, как и в предыдущей модели, ломаная линия. Рассматриваемая модель пригодна для использования, однако имеет один существенный недостаток. Дело в том, что в момент заказа в ней происходит прогнозирование интенсивности потребления ресурса на срок поставки. Если прогноз ошибочен, то поступившая партия либо не заполнит склад целиком, и тогда в следующем цикле может возникнуть дефицит ресурса, либо переполнит его, что также

недопустимо. Для устранения этого недостатка усовершенствуем предложенную модель. В целях исключения переполнения склада будем всегда ориентироваться на худший в этом смысле вариант – минимальное потребление ресурса в течение всего срока поставки. Тогда текущая партия составит:

$$n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тек}} + T_{\text{пост}} \cdot I_{\text{min}}.$$

Во избежание дефицита будем резервировать емкость склада как на весь следующий цикл потребления, так и на ближайший срок поставки. Для этого рассчитаем  $H_{\text{скл}}^*$  – условный максимальный запас, т.е. тот уровень, которого достиг бы запас, если бы заказанная партия поступила на склад мгновенно:

$$H_{\text{скл}}^* = (R_{\text{пост}} + T_{\text{пост}})I_{\text{max}}.$$

Емкость склада может быть меньше  $H_{\text{скл}}^*$  на величину минимально возможного потребления ресурса за время  $T_{\text{пост}}$ :

$$H_{\text{скл}} = H_{\text{скл}}^* - T_{\text{пост}} \cdot I_{\text{min}} = (R_{\text{пост}} + T_{\text{пост}})I_{\text{max}} - T_{\text{пост}} \cdot I_{\text{min}} = R_{\text{пост}} \cdot I_{\text{max}} + T_{\text{пост}}(I_{\text{max}} - I_{\text{min}}).$$

В этом случае размер текущей партии поставки пересчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} n_{\text{тек}} &= R_{\text{пост}} \cdot I_{\text{max}} + T_{\text{пост}}(I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) - H_{\text{тек}} + T_{\text{пост}} \cdot I_{\text{min}} = \\ &= (R_{\text{пост}} + T_{\text{пост}})I_{\text{max}} - H_{\text{тек}} = H_{\text{скл}}^* - H_{\text{тек}}, \end{aligned}$$

причем

$$n_{\text{тек max}} = R_{\text{пост}} \cdot I_{\text{max}}; n_{\text{тек min}} = R_{\text{пост}} \cdot I_{\text{min}}.$$

Резервный запас составит:

$$\begin{aligned} H_{\text{рез}} &= H_{\text{скл}}^* - (R_{\text{пост}} + T_{\text{пост}}) \cdot I_{\text{ср}} = (R_{\text{пост}} + T_{\text{пост}})(I_{\text{max}} - I_{\text{ср}}) = \\ &= R_{\text{пост}}(I_{\text{max}} - I_{\text{ср}}) + T_{\text{пост}}(I_{\text{max}} - I_{\text{ср}}). \end{aligned}$$

Как видим, в отличие от упрощенной модели, где в течение срока поставки склад не был застрахован от неприятностей, в доработанной модели срок поставки участвует в расчетах и емкости склада, и резервного запаса. Соответственно величина резервного запаса еще больше возрастает.

При заключении договора с поставщиком на условиях фиксированного ритма поставки менеджер должен контролировать, достаточна ли емкость склада при выборе удобных ритма и срока поставки, а при ограниченной емкости требовать их корректировки. В договор по инициативе поставщика могут быть включены также ограничения на минимальный  $n_{\text{тек min}}$  и максималь-

ный  $n_{\text{тек max}}$  объемы текущей партии поставки, что также может повлиять на выбор величины  $R_{\text{пост}}$ :

$$R_{\text{пост}} \leq \frac{n_{\text{тек min}}}{I_{\text{min}}}; R_{\text{пост}} \geq \frac{n_{\text{тек max}}}{I_{\text{max}}}$$

Если в качестве ритма поставки выбран месяц, что бывает достаточно часто, возникают дополнительные трудности с расчетом параметров управления при меняющемся количестве рабочих дней в нем. Рассмотрим такую ситуацию на примере.

### Пример 5

Предприятие потребляет дисковые фрезы определенного диаметра от 24 до 35 шт. ежедневно, причем внутри интервала потребление распределено равномерно. В соответствии с договором с инструментальным заводом поставка фрез на склад предприятия происходит 20-го числа каждого месяца (или в ближайший рабочий день после этой даты), а заказ их должен быть сделан за пять рабочих дней до поставки. Требуется определить емкость склада, отводимого для хранения этих фрез, резервный запас, максимальную и минимальную партии поставок, если в месяце в среднем 20 рабочих дней. Как изменится решение, если реальный месяц может иметь продолжительность от 18 до 21 рабочего дня? В июне 20 рабочих дней. В момент заказа был зафиксирован остаток фрез на складе – 185 шт. и средняя интенсивность их потребления – 31 шт. за рабочий день. Необходимо рассчитать размер текущей партии поставки в июне.

#### Решение

Сначала рассмотрим решение задачи в соответствии с упрощенной моделью. Емкость склада по условию не ограничена, поэтому для среднего месяца она рассчитывается так:

$$H_{\text{скл}} = R_{\text{пост}} \cdot I_{\text{max}} = 20 \cdot 35 = 700 \text{ шт.}$$

(или соответствующее число мест хранения).

Резервный запас и пределы изменения партии поставки составят:

$$H_{\text{рез}} = T_{\text{пост}} \left( \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{2} \right) = 20 \cdot \frac{35 - 24}{2} = 110 \text{ шт.}$$

$$n_{\text{тек max}} = 20 \cdot 35 = 700 \text{ шт.}$$

$$n_{\text{тек min}} = 20 \cdot 24 = 480 \text{ шт.}$$

В июне заказ составит:

$$n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тек}} + T_{\text{пост}} \cdot I_{\text{тек}} = 700 - 185 + 5 \cdot 31 = 670 \text{ шт.}$$

При изменении ритма поставки от 18 до 21 рабочего дня максимальный ритм увеличит  $H_{\text{скл}}$  и  $n_{\text{тек max}}$  относительно определенных ранее для среднего ритма значений, а минимальный – уменьшит значение  $n_{\text{тек min}}$ . Определим новые значения:

$$H_{\text{скл}} = n_{\text{тек max}} = R_{\text{пост max}} \cdot I_{\text{max}} = 21 \cdot 35 = 735 \text{ шт.};$$

$$H_{\text{скл}} = n_{\text{тек min}} = R_{\text{пост min}} \cdot I_{\text{min}} = 18 \cdot 24 = 432 \text{ шт.}$$

Особенности модели управления для этого случая схематично показаны на рис. 10.4. Модифицированная модель дает следующие результаты. Емкость склада для среднего месяца возрастет:

$$H_{\text{скл}}^* = (20 + 5) \cdot 35 = 875 \text{ шт.};$$

$$H_{\text{скл}} = 875 - 5 \cdot 24 = 755 \text{ шт.}$$

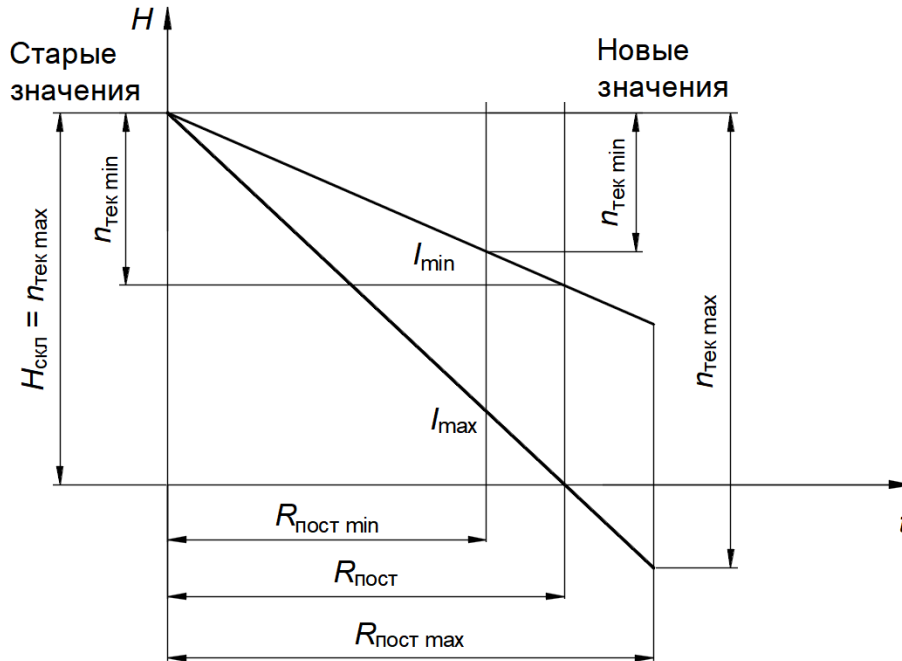


Рисунок 10.4 – Схема пересчета параметров управления запасами при колебаниях ритма поставки

Резервный запас тоже увеличится:

$$H_{\text{рез}} = (20 + 5) \cdot \frac{35-24}{2} = 137,5 \text{ шт.}$$

Пределы изменения величины партии останутся прежними  $480 \leq n_{\text{тек}} \leq 700$  шт. В июне заказ составит:

$$n_{\text{тек}} = 875 - 185 = 690 \text{ шт.},$$

причем минимальный остаток ресурса на складе равен  $35 \cdot 5 = 175$  шт.; для него размер партии поставки будет:

$$n_{\text{тек}} = n_{\text{тек max}} = 875 - 175 = 700 \text{ шт.}$$

Механизм формирования параметров управления при изменении ритма поставки аналогичен упрощенной модели. Определим новое значение емкости склада:

$$H_{\text{скл}} = R_{\text{пост max}} \cdot I_{\text{max}} + T_{\text{пост}}(I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) = 21 \cdot 35 + 5 \cdot (35 - 24) = 790 \text{ шт.}$$

Тогда в июне заказ составит:

$$n_{\text{тек}} = (21 + 5) \cdot 35 - 185 = 725 \text{ шт.}$$

Пределы изменения величины партии поставки останутся прежними:

$$432 \leq n_{\text{тек}} \leq 735 \text{ шт.}$$

## 10.6. Комбинированный способ управления запасами

Пусть, как и в предыдущих моделях, заданы  $I_{\min}$ ,  $I_{\max}$  и  $T_{\text{пост}}$ , а партия и ритм поставки не зафиксированы. Тогда управление осуществляется комбинированным способом. При этом как и в первой модели, управляющим параметром является уровень (остаток) запаса на складе, а для управления используются резервный запас и точка заказа. Как и во второй модели, в момент заказа рассчитывается величина текущей партии поставки, обеспечивающая заполнение склада емкостью  $H_{\text{скл}}$ . Значения  $H_{\text{тз}}$  и  $H_{\text{рез}}$  рассчитываются по известным формулам, а расчет  $n_{\text{тек}}$  отличается от предложенного в предыдущей модели и выполняется по формуле:

$$H_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тз}} + T_{\text{пост}} \cdot I_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - T_{\text{пост}}(I_{\max} - I_{\text{тек}}).$$

Емкость склада здесь фиксируется на необходимом или имеющемся уровне. При этом под контролем менеджера при заключении договора должно находиться выполнение условия  $\geq H_{\text{тз}}$  или  $T_{\text{пост}} \leq H_{\text{скл}} / I_{\max}$ . В договоре с поставщиком могут быть указаны также ограничения на максимальный и минимальный размеры текущей партии. Если  $n_{\text{тек max}} \geq H_{\text{скл}}$ , то никаких изменений в управление это не вносит; если  $n_{\text{тек max}} < H_{\text{скл}}$ , то емкость склада иногда будет использоваться нерационально. При этом должно выполняться условие:

$$n_{\text{тек max}} \geq H_{\text{тз}} \text{ или } T_{\text{пост}} \leq \frac{n_{\text{тек max}}}{I_{\max}},$$
$$T_{\text{пост}} \leq \frac{H_{\text{скл}} - n_{\text{тек min}}}{I_{\max} - I_{\min}}.$$

Графическая модель этого способа управления запасами представлена на рис. 10.5.

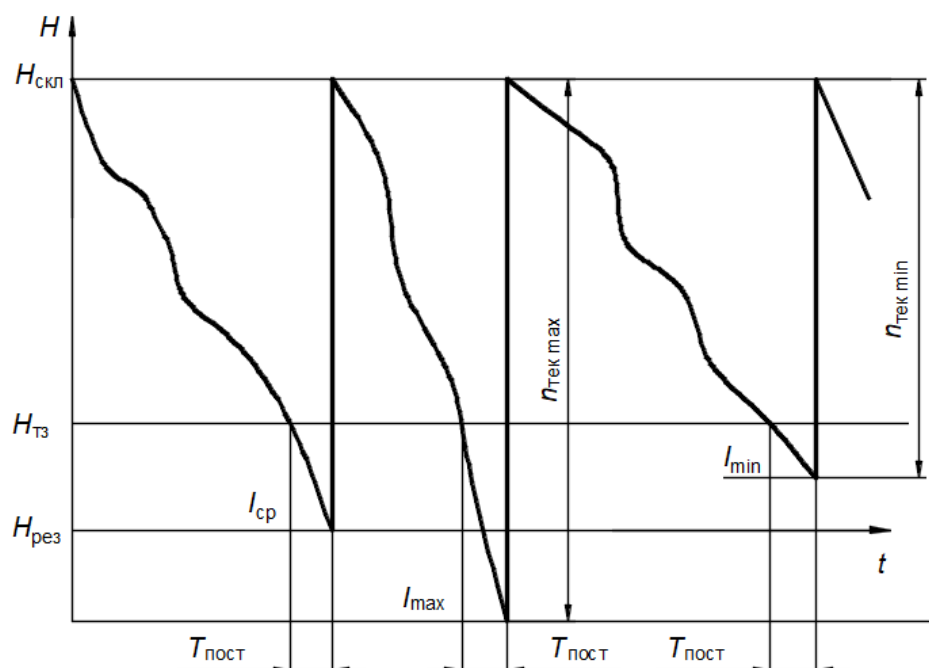


Рисунок 10.5 – Модель управления запасами (комбинированный способ)

Комбинированный способ управления запасами ввиду своей простоты, наглядности и минимального числа фиксируемых в договоре параметров наиболее распространен на практике. Однако здесь, также как и во второй модели управления, прогнозируется потребление ресурса на срок поставки (путем введения в расчет  $n_{\text{тек}}$  величины  $I_{\text{тек}}$ ) и также могут возникнуть нежелательные следствия неправильного прогноза. Но модификация этой модели в отличие от предыдущей невозможна и попытки ее выполнить вряд ли целесообразны. Действительно, если фактическое потребление на интервале  $T_{\text{пост}}$  отлично от прогнозируемого, то при поступлении очередной партии склад окажется либо незаполненным, либо произойдет его переполнение. Первая ситуация не опасна, если  $n_{\text{тек}} \geq H_{\text{тз}}$ . Вторая – нежелательна, однако в большинстве случаев не приводит к потерям. Модифицировать же модель по аналогии с предыдущей, заказывая партию каждый раз с расчетом на минимальное потребление ресурса для исключения переполнения им склада, означало бы вернуться к размеру партии, фиксированному на уровне  $n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тз}} + T_{\text{пост}} \cdot I_{\text{min}}$ , т.е. к первой модели управления запасами.

### Пример 6

Интенсивность потребления сырья со склада предприятия изменяется в интервале от 8 до 13 т в день. По условиям поставщика партия поставки сырья может отклоняться от технологически оптимальных для него 206 т лишь на  $\pm 10\%$ . Емкость склада предприятия не лимитирует поставки. Требуется определить максимально возможный, допустимый при заданных условиях срок поставки сырья (в днях), необходимую емкость склада, точку заказа и

величину текущей партии поставки, если интенсивность потребления сырья прогнозируется на ближайшие дни на уровне 11 т в день.

*Решение*

Определим границы изменения величины партии поставки:

$$n_{\text{тек min}} = 206 \cdot (1 - 0,1) \approx 185 \text{ т};$$

$$n_{\text{тек max}} = 206 \cdot (1 + 0,1) \approx 227 \text{ т}.$$

Отсюда определяется предельная емкость склада:

$$H_{\text{скл}} = n_{\text{тек max}} = 227 \text{ т}.$$

Срок поставки рассчитаем из ограничения на нижнюю границу партии поставки, учитывая, что это должно быть целое число:

$$T_{\text{пост}} = \frac{H_{\text{скл}} - n_{\text{тек min}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}} = \frac{227 - 185}{13 - 8} = 8,4 = 8 \text{ дн}.$$

Тогда

$$H_{\text{тз}} = 8 \cdot 13 = 104 \text{ т}.$$

Проверим параметры управления для срока поставки, подвергнутого округлению:

$$n_{\text{тек min}} = 227 - 8 \cdot (13 - 8) = 187 \text{ т},$$

что выше нижней границы – 185 т, т.е. допустимо. Рассчитаем размер текущей партии:

$$n_{\text{тек}} = 227 - 8 \cdot (13 - 11) = 211 \text{ т}.$$

### 10.7. Управление запасами с фиксированной партией поставки (стохастический подход)

Пусть интенсивность потребления ресурса – величина случайная, распределенная нормально с параметрами  $M$  и  $\sigma$ , где  $M$  – математическое ожидание (среднее значение) и  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение случайной величины. Договором с поставщиком зафиксированы срок поставки  $T_{\text{пост}}$  и партия поставки  $n_{\text{пост}}$ , причем размер партии может быть оптимизирован с помощью модели *ЕОQ*. Пусть менеджером склада установлен основной для первого способа параметр управления  $H_{\text{тз}}$ . Тогда неизбежно возникает вопрос: с какой вероятностью на складе не возникнет дефицита ресурса. В уже принятых обозначениях требуется найти значения  $P_0$ . Отправной точкой для дальнейших рассуждений является известная из теории вероятностей формула нахождения нормированного отклонения случайной величины от среднего:

$$u(P_0) = \frac{H_{\text{тз}} - M^*}{\sigma^*},$$

где  $M^*$  – ожидаемое потребление ресурса за время исполнения заказа ( $T_{\text{пост}}$ );

$\sigma^*$  – среднеквадратичное отклонение этой случайной величины;  
 $P_0$  – вероятность того, что эта случайная величина примет любое значение, не превышающее  $H_{\text{тз}}$ ;  
 $u(P_0)$  – нормированное отклонение, или квантиль, величина которого для заданного значения вероятности отыскивается по таблицам интегральной или накопленной вероятности.

Из правила суммирования независимых случайных величин следует:

$$M^* = T_{\text{пост}} \cdot M;$$

$$\sigma^{*2} = T_{\text{пост}} \cdot \sigma^2, \rightarrow \sigma^* = \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}},$$

а из центральной предельной теоремы теории вероятностей следует, что при достаточно большом числе членов этой суммы результирующая случайная величина всегда распределена нормально независимо от законов, по которым были распределены слагаемые. Выполнив необходимые расчеты и получив значение квантиля, по таблице следует найти соответствующую ему величину  $P_0$ . Это вероятность того, что к моменту получения очередной партии склад не окажется пустым. В зарубежной литературе этот параметр получил название «вероятность покрытия спроса». Для полноты картины можно определить вероятность того, что запас не будет исчерпан уже за день до поставки, или значение  $P_1$ . Для получения результата выполним следующую последовательность действий:

$$u(P_1) = \frac{H_{\text{тз}} - (T_{\text{пост}} - 1)M}{\sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}} - 1}} \rightarrow P_1.$$

Этот и подобные расчеты, выполненные для других сроков, могут пригодиться при установлении оптимального уровня резервного запаса. Отметим, что возникновение дефицита на складе задень, за два, за три дня до поставки – зависимые случайные величины, поэтому  $P_1$  – это часть  $P_0$ ,  $P_2$  – часть  $P_1$  и т.д. Значит, для расчета  $H_{\text{тз}}$  достаточно знать только  $P_0$ , и наоборот. Если полученное значение  $P_0$  не устраивает менеджера склада, можно решить обратную задачу: по заданной им вероятности бездефицитной работы найти точку заказа. В этом случае ход решения таков:

$$P_0 \rightarrow u(P_0) \rightarrow H_{\text{тз}} = M^* + u(P_0) \cdot \sigma^* = T_{\text{пост}} \cdot M + u(P_0) \cdot \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}}.$$

Отсюда видно, что величина  $u(P_0) \cdot \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}}$  представляет собой резервный запас, обеспечивающий с вероятностью  $P_0$  бездефицитность работы склада.

Очень важна задача нахождения его оптимального уровня. Существующие методы основаны на том, что с ростом  $P_0$  увеличиваются затраты на создание и содержание резервного запаса ресурса, но снижаются потери ввиду его дефицита. Сложность практического применения этих методов состоит в том, как оценивать потери от дефицита ресурса и затраты на резервирование. Разные подходы к такой оценке формируют разные алгоритмы решения задачи оптимизации.

Положим, точка заказа установлена, а у менеджера склада возник другой вопрос: поместится ли на складе емкостью  $H$  очередная поступающая партия ресурса? Переполнения склада не произойдет с вероятностью  $P_c$ , если за срок поставки будет потреблено ресурса более чем  $H_{ТЗ} + n_{\text{пост}} - H_{\text{скл}}$  (см. рис. 10.5). По аналогии с предыдущими рассуждениями запишем:

$$u(P) = \frac{H_{ТЗ} + n_{\text{пост}} - H_{\text{скл}} - M^*}{\sigma^*},$$

где  $P$  – вероятность того, что потребление ресурса за время  $T_{\text{пост}}$  не превысит указанной величины. Искомая вероятность является дополнением к найденной, т.е.  $P_c = 1 - P$ . Тогда окончательно формула примет вид:

$$u(1 - P_c) = \frac{H_{ТЗ} + n_{\text{пост}} - H_{\text{скл}} - T_{\text{пост}} \cdot M}{\sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}}}.$$

Для решения обратной задачи следует выполнить следующие действия:

$$P_c \rightarrow 1 - P_c \rightarrow u(1 - P_c) \rightarrow H_{\text{скл}} = H_{ТЗ} + n_{\text{пост}} - T_{\text{пост}} \cdot M - u(1 - P_c) \cdot \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}}.$$

В заключение можно задаться третьим вопросом: что случится, если срок поставки будет постоянно нарушаться и в конце концов также окажется случайной величиной, распределенной нормально с параметрами  $M_t$  и  $\sigma_t$ . В этом случае вместо значения  $T_{\text{пост}}$  в расчетах используется  $M_t$ , а значение  $\sigma^*$  определяется из соотношения:

$$\sigma^{*2} = M_t \cdot \sigma^2 + M^2 \cdot \sigma_t^2.$$

Из анализа приведенной модели можно сделать следующий вывод. Вероятность бездефицитной работы склада определяет только точку заказа и величину резервного запаса. Следовательно, уменьшать партию поставки, а с ней и емкость склада можно, не снижая уровня надежности склада. Это свойство используется при расчете оптимальной партии поставки с помощью модели *ЕОQ*.

### Пример 7

Детали изготавливаются в механическом цехе партиями по 160 шт. и поступают в соответствующий операционный накопитель сборочного конвейера. Время изготовления и доставки партии – 4,5 ч. Интенсивность потребления деталей на сборке – величина случайная, распределенная нормально с параметрами  $M = 22,1$  шт./ч,  $\sigma = 3,7$  шт./ч. Требуется установить точку заказа и величину резервного запаса таким образом, чтобы вероятность остановки конвейера из-за отсутствия в данном накопителе деталей составляла 1%. Определить, с какой вероятностью может произойти переполнение накопителя, если его емкость 190 деталей. Если эта вероятность больше допустимых 3%, то следует указать необходимое увеличение его емкости. Как изменится решение задачи, если срок поставки окажется случайной величиной, нормально распределенной с параметрами  $M_t = 4,5$  ч,  $\sigma_t = 0,6$  ч?

#### Решение

Для расчета точки заказа надо знать вероятность бездефицитной работы операционного накопителя, которая является дополнением к заданной вероятности возникновения простоя, т.е.

$$P_0 = 1 - 0,01 = 0,99.$$

Далее по таблице отыскивается квантиль, соответствующий этой вероятности. Обычно, используя свойство симметрии функции накопленной вероятности, в справочниках приводят лишь половину таблицы значений этой функции. Для поиска квантиля нужно знать, что в таблице тогда указывается отклонение вероятности от 0,5, и если это отклонение в большую сторону, то найденный квантиль имеет положительное значение, а если в меньшую, то отрицательное. Рассчитав соответствующий квантиль, находим точку заказа и норму резервного заноса:

$$u(0,99) = u(0,5 + 0,49) = 0 + u(0,49) = +2,33;$$

$$H_{\text{тз}} = T_{\text{пост}} \cdot M + u(P_0) \cdot \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}} = 4,5 \cdot 22,1 + 2,33 \cdot 3,7 \cdot \sqrt{4,5} = 117,74 \approx 118 \text{ шт.};$$

$$H_{\text{рез}} = u(P_0) \cdot \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}} = 2,33 \cdot 3,7 \cdot \sqrt{4,5} = 18,29 \approx 19 \text{ шт.}$$

Для определения вероятности переполнения накопителя сначала рассчитывается соответствующий квантиль:

$$u(P) = \frac{H_{\text{тз}} + n_{\text{пост}} - H_{\text{скл}} - T_{\text{пост}} \cdot M}{\sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}}} = \frac{118 + 160 - 190 - 22,1 \cdot 4,5}{3,7 \cdot \sqrt{4,5}} = -1,46 \rightarrow$$
$$P = 0,5 - 0,427 = 0,073.$$

Найденное значение (7,3%) превышает допустимое (3%), значит, необходимо найти новую емкость накопителя:

$$u(0,03) = u(0,5 - 0,47) = 0 - u(0,47) = -1,88;$$

$$H_{\text{скл}} = H_{\text{скл}} = H_{\text{тз}} + n_{\text{пост}} - T_{\text{пост}} \cdot M - u(1 - P_c) \cdot \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}} =$$
$$= 118 + 160 - 22,1 \cdot 4,5 + 1,88 \cdot 3,7 \cdot \sqrt{4,5} = 193,3 \approx 194 \text{ шт.}$$

Если срок поставки величина случайная, пересчитывается значение  $\sigma^*$ :

$$\sigma^* = \sqrt{M_t \cdot \sigma^2 + M^2 \cdot \sigma_t^2} = \sqrt{4,5 \cdot 3,7^2 + 22,1^2 \cdot 0,6^2} = 15,41,$$

а затем с этим новым значением выполняются все остальные расчеты:

$$H_{\text{тз}} = 4,5 \cdot 22,1 + 2,33 \cdot 15,41 = 135,35 \approx 136 \text{ шт.};$$

$$u(P) = \frac{136 + 160 - 190 - 22,1 \cdot 4,5}{15,41} = +0,425 \rightarrow$$

$$P = 0,5 + 0,164 = 0,664;$$

$$H_{\text{скл}} = 136 + 160 - 22,1 \cdot 4,5 + 1,88 \cdot 15,41 = 225,5 \approx 226 \text{ шт.}$$

### 10.8. Управление запасами с фиксированным ритмом поставки (стохастический подход)

Пусть, как и в предыдущей модели, интенсивность потребления ресурса – величина случайная, распределенная нормально с параметрами  $M$  и  $\sigma$ . Договором с поставщиком установлены срок и ритм поставки  $T_{\text{пост}}$  и  $R_{\text{пост}}$ . Требуется определить емкость склада, исходя из двух условий:

- 1) с вероятностью  $P_0$  должна обеспечиваться бездефицитность его работы;
- 2) с вероятностью  $P_c$  должно быть исключено его переполнение. Бездефицитность работы склада обеспечивается на интервале  $(T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}})$ , причем за это время должно быть потреблено ресурса не более чем  $H_{\text{скл}}^*$  (см. рис. 9.5). Здесь потребление ресурса – величина случайная, распределенная нормально с параметрами  $M^{**}$  и  $\sigma^{**}$ , где

$$M^{**} = M \cdot (T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}});$$

$$\sigma^{**2} = \sigma^2 \cdot (T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}) \rightarrow \sigma^{**} = \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}}.$$

Формула расчета квантиля, соответствующего вероятности  $P_0$ , в этом случае имеет вид:

$$u(P_0) = \frac{H_{\text{скл}}^* - M^{**}}{\sigma^{**}}.$$

Тогда при известном значении  $P_0$  можно найти условный максимальный запас  $H_{\text{скл}}^*$ , выполнив следующие действия:

$$P_0 \rightarrow u(P_0) \rightarrow H_{\text{скл}}^* = M^{**} + u(P_0) \cdot \sigma^{**} =$$

$$= M \cdot (T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}) + u(P_0) \cdot \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}}.$$

Реальная емкость склада может быть меньше величины  $H_{\text{скл}}^*$  на то количество ресурса, которое будет потреблено за срок поставки. Это тоже слу-

чайная величина, распределенная нормально с параметрами  $M^*$  и  $\sigma^*$ . Для того чтобы не произошло переполнения склада, она должна принимать любые значения, не меньшие  $H_{\text{скл}}^* - H_{\text{скл}}$  (см. рис. 10.4), т.е.

$$u(1 - P_c) = \frac{H_{\text{скл}}^* - H_{\text{скл}} - M^*}{\sigma^*}.$$

Тогда при известном значении  $P_c$  можно выразить  $H_{\text{скл}}$  через  $H_{\text{скл}}^*$ :

$$P_c \rightarrow 1 - P_c \rightarrow u(1 - P_c) \rightarrow H_{\text{скл}} = H_{\text{скл}}^* - M^* - u(1 - P_c) \cdot \sigma^*.$$

Подставив в эту формулу выражение, выведенное ранее для расчета  $H_{\text{скл}}^*$ , получим:

$$\begin{aligned} H_{\text{скл}} &= M \cdot (T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}) + u(P_0) \cdot \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}} - \\ &\quad - M \cdot T_{\text{пост}} - u(1 - P_c) \cdot \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}} = \\ &= M \cdot R_{\text{пост}} + \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}} \cdot \left( u(P_0) \cdot \sqrt{1 + \frac{R_{\text{пост}}}{T_{\text{пост}}}} - u(1 - P_c) \right). \end{aligned}$$

Таким образом, емкость склада зависит одновременно от значений обоих параметров  $P_0$  и  $P_c$ . При задании емкости склада решается обратная задача, т.е. рассчитывается вероятность его бездефицитного функционирования или вероятность его непереполнения:

$$u(P_0) \cdot \sqrt{1 + \frac{R_{\text{пост}}}{T_{\text{пост}}}} - u(1 - P_c) = \frac{H_{\text{скл}} - M \cdot R_{\text{пост}}}{\sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}}}.$$

Очевидно, что одна из этих вероятностей должна быть задана, иначе обратная задача окажется неопределенной. При ее решении должно также соблюдаться условие  $(H_{\text{скл}} - M \cdot R_{\text{пост}}) > 0$ . Зная значение  $H_{\text{скл}}^*$ , можно найти величину текущей партии поставки ресурса на склад:

$$n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}}^* - H_{\text{тек}}.$$

Теоретически размер партии может достигать значения  $H_{\text{скл}}^*$ , практически же на него накладывается ограничение  $H_{\text{скл}} \geq n_{\text{тек}}$ , нарушение которого ведет к несостоятельности приведенных выше выкладок. Может быть также задана нижняя граница изменения названной величины —  $n_{\text{тек min}}$ . В этом случае определяется вероятность  $P_{\text{п}}$  того, что размер текущей партии не выйдет за нее. Известно, что заказывается для очередной поставки столько ресурса,

сколько его потребляется за время  $R_{\text{пост}}$  относительно уровня  $H_{\text{скл}}^*$  (см. рис. 10.5). Тогда

$$u(1 - P_{\text{п}}) = \frac{n_{\text{тек min}} - M \cdot R_{\text{пост}}}{\sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}}} \rightarrow 1 - P_{\text{п}} \rightarrow P_{\text{п}}.$$

На основании записанной формулы может быть решена и обратная задача.

### Пример 8

Фирма завозит из-за границы запчасти для автомобилей и реализует их в розничной сети на северо-западе России. Известен спрос на эти товары, в частности, спрос на моторное масло составляет в среднем 624 л в неделю (в ассортименте). Осуществляется еженедельный заказ товара у поставщиков, средний срок поставки – 2,4 нед., минимальная партия поставки – 400 л, причем заказ должен быть округлен до десятков килограммов. Считается, что величина недельного спроса и срок поставки – это нормально распределенные случайные величины. Известны их среднеквадратичные отклонения: 182 кг/нед. и 0,6 нед. соответственно. В момент заказа зафиксирован остаток на складе – 212 л, а до получения заказываемой партии ожидается поставка двух заказанных ранее партий размером 450 и 810 л.

Требуется рассчитать емкость склада, необходимую для хранения моторного масла, при условии, что вероятность отсутствия его в продаже может составлять не более 5%, а переполнение склада допускается с вероятностью 30%. Определить размер заказа, который должен быть сделан сегодня, найти величины резервного и среднего запасов корма на складе, а также средний срок реализации поступившей партии. Рассчитать вероятность того, что партия поставки окажется не меньше минимальной договорной величины.

### Решение

Найдем решение сначала для фиксированного срока поставки масла  $T_{\text{пост}} = 2,4$  нед. Ожидаемый расход масла за срок  $(T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}})$  – случайная величина с параметрами:

$$M^{**} = M \cdot (T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}) = 624 \cdot (2,4 + 1) = 2121,6 \text{ л/нед.};$$

$$\sigma^{**} = \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}} = 182 \cdot \sqrt{2,4 + 1} = 335,6 \text{ л/нед.}$$

При допустимой вероятности дефицита масла 5%

$$P_0 = 1 - 0,05 = 0,95 \rightarrow u(0,95) = u(0,5 + 0,45) = +1,645.$$

Тогда может быть найден условный максимальный запас моторного масла на складе:

$$H_{\text{скл}}^* = 2121,6 + 1,645 \cdot 335,6 = 2673,6 \text{ л.}$$

Емкость склада определим исходя из допустимой вероятности его переполнения 30%:

$$1 - P_c = 0,3 \rightarrow u(0,3) = u(0,5 - 0,2) = -0,525,$$

и с учетом того, что ожидаемый расход масла и среднеквадратичное отклонение его за срок поставки составят:

$$M^* = 624 \cdot 2,4 = 1497,6 \frac{\text{л}}{\text{нед}};$$

$$\sigma^* = 182 \cdot \sqrt{2,4} = 281,9 \frac{\text{л}}{\text{нед}};$$

$$H_{\text{скл}} = H_{\text{скл}}^* - M^* - u(1 - P_c) \cdot \sigma^* = 2673,6 - 1497,6 + 0,525 \cdot 281,9 = 1324,0 \text{ л.}$$

Проверим полученный результат, повторив расчет по сводной формуле:

$$\begin{aligned} H_{\text{скл}} &= M \cdot R_{\text{пост}} + \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}} \cdot \left( u(P_0) \cdot \sqrt{1 + \frac{R_{\text{пост}}}{T_{\text{пост}}}} - u(1 - P_c) \right) = \\ &= 624 \cdot 1 + 182 \cdot \sqrt{2,4} \cdot \left( 1,645 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{2,4}} + 0,525 \right) = 1324,1 \text{ л.} \end{aligned}$$

Как видим, ответы практически совпали. Расчет заказываемой партии в данной ситуации будет немного отличаться от расчета по алгоритму, предложенному выше, так как он должен учитывать предстоящее получение двух заказанных ранее партий:

$$n_{\text{тек}} = 2673,6 - 212 - 450 - 810 = 1201,6 \text{ л.}$$

Принимая во внимание необходимость округления полученной цифры и практическую нелимитированность емкости склада, установим  $n_{\text{тек}} = 1210 \text{ л.}$  Отметим, что  $n_{\text{тек}} < H_{\text{скл}}$ , значит, выполненные расчеты состоятельны. Далее определим вероятность того, что любая заказываемая в процессе управления запасом партия окажется не меньше 400 л:

$$u(1 - P_{\Pi}) = \frac{n_{\text{тек}} \min - M \cdot R_{\text{пост}}}{\sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}}} = \frac{400 - 624 \cdot 1}{182 \cdot \sqrt{1}} = -1,23 \rightarrow$$

$$1 - P_{\Pi} = 0,5 - 0,391 = 0,109 \rightarrow P_{\Pi} = 0,891.$$

Резерв, средний запас и средний срок реализации партии определяются исходя из среднего спроса на товар:

$$H_{\text{рез}} = H_{\text{скл}}^* - M \cdot (T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}}) = 2673,6 - 2121,6 = 552,0 \text{ л;}$$

$$H_{\text{ср}} = H_{\text{рез}} + \frac{M \cdot R_{\text{пост}}}{2} = 552 + \frac{624}{2} = 864 \text{ л;}$$

$$T_{\text{р}} = \frac{H_{\text{скл}}^*}{M} - T_{\text{пост}} = \frac{2673,6}{624} - 2,4 = 1,9 \text{ нед.}$$

Завершая решение задачи, проанализируем, как влияет на полученные результаты случайный характер срока поставки. Ранее был показан механизм учета такого влияния. Есть только одно отличие, отражающее принципиальную разницу между моделями с фиксированной партией и фиксированным ритмом поставки. Оно заключается в том, что резервирование запаса в первом случае производится на сроке поставки  $T_{\text{пост}}$ , а во втором – на интервале

$(T_{\text{пост}} + R_{\text{пост}})$ . В таком случае для разрешения наших проблем пересчитаем значение  $\sigma^{**}$ :

$$\begin{aligned}\sigma^{**} &= \sqrt{M^2 \cdot \sigma_T^2 + (M_T + R) \cdot \sigma^2} = \\ &= \sqrt{624^2 \cdot 0,6^2 + (2,4 + 1) \cdot 182^2} = 502,79 \frac{\text{л}}{\text{нед}},\end{aligned}$$

а в качестве срока поставки будем использовать его математическое ожидание  $M_T$ . В приведенной выше формуле  $\sigma_T$  – среднеквадратичное отклонение срока поставки. Рассчитаем с учетом этого новое значение  $H_{\text{скл}}^*$ :

$$H_{\text{скл}}^* = 2121,6 + 1,645 \cdot 502,79 = 2948,69 \text{ л.}$$

Напомним, что ранее было получено значение 2673,6 кг. Очевидно, что случайный характер срока поставки оказывает существенное влияние на процесс управления запасом. Выполним пересчет параметров управления с учетом того, что ожидаемый расход масла и среднеквадратичное отклонение его при случайном сроке поставки составят:

$$\begin{aligned}M^* &= 624 \cdot 2,4 = 1497,6 \text{ л/нед.}; \\ \sigma^* &= \sqrt{182^2 \cdot 2,4 + 624^2 \cdot 0,6^2} = 468,69 \text{ л/нед.}; \\ H_{\text{скл}} &= 2948,69 - 1497,6 + 0,525 \cdot 468,69 = 1697,2 \text{ л}; \\ n_{\text{тек}} &= 2948,69 - 212 - 450 - 810 = 1476,69 = 1480 \text{ л}; \\ H_{\text{рез}} &= 2948,69 - 2121,6 = 827,1 \text{ л}; \\ H_{\text{ср}} &= H_{\text{рез}} + \frac{M \cdot R_{\text{пост}}}{2} = 827,1 + \frac{624}{2} = 1139,1 \text{ л}; \\ T_p &= \frac{H_{\text{скл}}^*}{M} - T_{\text{пост}} = \frac{2948,69}{624} - 2,4 = 2,3 \text{ нед.}\end{aligned}$$

## 10.9. Комбинированный способ управления запасами (стохастический подход)

Комбинированная модель и в стохастической постановке сочетает черты двух других моделей управления запасами. Резервирование бездефицитной работы, как и в первой модели, осуществляется на интервале  $T_{\text{пост}}$ ; значения  $H_{\text{тз}}$  и  $H_{\text{рез}}$  рассчитываются по соответствующим формулам. Но в отличие от этой модели размер партии поставки меняется в зависимости от ожидаемой интенсивности потребления ресурса на интервале  $T_{\text{пост}}$ . Предполагая, что емкость склада фиксирована на уровне  $H_{\text{скл}}$  и его переполнение исключено с вероятностью  $P_c$ , найдем величину текущей партии поставки.

Случайная величина – потребление ресурса на интервале  $T_{\text{пост}}$  – для исключения переполнения склада должна принимать любые значения, превышающие  $H_{\text{тз}} + n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}}$ . Тогда

$$u(1 - P_c) = \frac{H_{\text{тз}} + n_{\text{тек}} - H_{\text{скл}} - T_{\text{пост}} \cdot M}{\sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}}}.$$

Отсюда

$$n_{\text{тек}} = H_{\text{скл}} - H_{\text{тз}} + T_{\text{пост}} \cdot M + \sigma \cdot \sqrt{T_{\text{пост}}} \cdot u(1 - P_c).$$

Эта модель близка модели с фиксированной партией поставки. Это подтверждает и приведенная выше формула расчета  $n_{\text{тек}}$ . Из нее видно, что величина текущей партии поставки меняется только при изменении параметров распределения случайной величины – интенсивности потребления ресурса со склада ( $M$ ,  $\sigma$ ), условий договора с поставщиком ( $T_{\text{пост}}$ ), параметров управления запасом ( $H_{\text{скл}}$ ,  $P_c$ ,  $P_0$ ), т.е. достаточно редко. В то же время значение  $n_{\text{тек}}$  не оптимизируется с помощью модели  $EOQ$ , что резко снижает практическую значимость этого способа управления запасами.

### Пример 9

Управление запасом на складе осуществляется комбинированным способом. Известна емкость склада – 64 000 единиц ресурса. Интенсивность потребления ресурса со склада – величина случайная, распределенная нормально с параметрами  $M = 2809$  ед./дн.,  $\sigma = 182$  ед./дн. Срок исполнения заказа – 5 дней. Требуется определить точку заказа и величину резервного запаса на складе так, чтобы вероятность возникновения дефицита составляла 12%; определить текущую партию поставки, допуская переполнение склада с вероятностью 5, 10 и 30%.

### Решение

Найдем вероятность бездефицитной работы как дополнение к заданной вероятности возникновения дефицита:  $P_0 = 1 - 0,12 = 0,88$ . Затем по таблицам отыщем  $u(0,88) = u(0,5 + 0,38) = +1,175$ . Тогда

$$H_{\text{тз}} = 5 \cdot 2809 + 182 \cdot 1,175 \cdot \sqrt{5} = 14523,2 \text{ ед.};$$

$$H_{\text{рез}} = 14523,2 - 5 \cdot 2809 = 478,2 \text{ ед.}$$

Из результатов расчета видим, что низкий уровень сервиса определил очень низкий уровень резервного запаса. Рассчитаем значения партии поставки, учитывая, что заданы дополнения к вероятностям непереполнения склада:

$$u(1 - P_c) = u(0,05) = u(0,5 - 0,45) = -1,645 \rightarrow$$

$$n_{\text{тек}} = 64000 - 14523,2 + 5 \cdot 2809 - 182 \cdot \sqrt{5} \cdot 1,645 = 62852,3 \text{ ед.};$$

$$u(1 - P_c) = u(0,1) = u(0,5 - 0,4) = -1,28 \rightarrow$$

$$n_{\text{тек}} = 64000 - 14523,2 + 5 \cdot 2809 - 182 \cdot \sqrt{5} \cdot 1,28 = 63000,9 \text{ ед.};$$

$$u(1 - P_c) = u(0,3) = u(0,5 - 0,2) = -0,525 \rightarrow$$

$$n_{\text{тек}} = 64000 - 14523,2 + 5 \cdot 2809 - 182 \cdot \sqrt{5} \cdot 0,525 = 63308,1 \text{ ед.};$$

Очевидно, что величина партии должна возрастать с ростом вероятности переполнения склада. Расчеты полностью подтверждают это.