

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского  
федерального университета

Дата подписания: 23.05.2024 11:22:18

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

**Методические указания**  
**по выполнению практических работ**  
по дисциплине «ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-  
ПРОЦЕССОВ»  
для студентов направления подготовки  
38.04.02 «Менеджмент»  
направленность (профиль) «Бизнес-администрирование»

Пятигорск, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                                      | 3  |
| ТЕМА 1. БИЗНЕС-ПРОЦЕСС И ЕГО КОМПОНЕНТЫ. ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ<br>БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ .....                                                             | 4  |
| Практическое занятие № 1. <i>Характеристики и показатели бизнес-процесса.</i> .....                                                                 | 4  |
| Практическое занятие № 2-3. <i>Системный подход к анализу ОТЭП предприятия</i> .....                                                                | 7  |
| ТЕМА 2. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-<br>ПРОЦЕССОВ .....                                                                      | 15 |
| Практическая работа № 4 <i>Решение транспортной задачи</i> .....                                                                                    | 15 |
| Практическое занятие № 5-7. <i>Нахождение оптимальной производственной программы</i> ....                                                           | 21 |
| Практическое занятие №8-9. <i>Определение значений технико-экономических показателей<br/>на основе производственной функции Кобба-Дугласа</i> ..... | 30 |
| ТЕМА 3. СЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-<br>ПРОЦЕССАМИ .....                                                                        | 40 |
| Практическое занятие №10-12. <i>Расчет параметров сетевого графа и его оптимизация</i> ....                                                         | 40 |
| ТЕМА 4. ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ИМИТАЦИОННОЕ<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ .....                                                        | 46 |
| Практическое занятие № 13-15 . <i>Построение динамической модели управления<br/>производственной мощностью</i> .....                                | 46 |
| Практическое занятие №16. <i>Динамическое и имитационное моделирование: особенности<br/>использования для бизнес-процессов</i> .....                | 56 |
| Практическое занятие №17-18. <i>Моделирование СМО</i> .....                                                                                         | 58 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....                                                                                                                      | 62 |

## ВВЕДЕНИЕ

С целью успешного существования в условиях современного рынка каждая организация должна заниматься улучшением своей деятельности. Функциональный подход к управлению организацией далеко не всегда является эффективным. Одним из средств координации деятельности является процессное управление, комплексное применение передовых методов и программных продуктов для управления бизнес-процессами. Управлять процессами в системе менеджмента – это значит прилагать определенные усилия воздействия на процесс для достижения им определенных целей. Моделирование, анализ и оптимизация бизнес-процессов дает возможность совершенствовать деятельность организации в целом и на рабочих местах, а также способствует более эффективному взаимодействию с внешней средой. На многих предприятиях во всем мире осуществляется переход от функциональной организации производства к процессной.

Целью освоения дисциплины «Цифровая трансформация и моделирование бизнес-процессов» является формирование теоретических знаний, практических умений, навыков и компетенций в области моделирования бизнес-процессов и бизнес-систем, овладение системным представлением о технологии моделирования бизнеса, понимание сущности моделирования бизнеса на основе использования современных информационных технологий.

Задачи освоения дисциплины:

1. освоение теоретических аспектов и методических приёмов моделирования бизнеса; сущности и структуры объектов моделирования; этапов процесса моделирования, способов оценки эффективности бизнеса; существующих методов оптимизации бизнес-процессов и бизнес-систем;
2. овладение методами моделирования бизнес-процессов;
3. приобретение опыта проведения предпроектного обследования объекта проектирования, системного анализа предметной области;
4. приобретение опыта использования современных инструментальных программных средств для решения задач моделирования бизнес-процессов и бизнес-систем.

## **ТЕМА 1. БИЗНЕС-ПРОЦЕСС И ЕГО КОМПОНЕНТЫ. ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ**

### **Практическое занятие № 1. Характеристики и показатели бизнес-процесса.**

**Цель:** ознакомиться с основными параметрами и ключевыми характеристиками бизнес-процессов, получить навыки оптимизации производственной программы предприятия

**Организационная форма:** собеседование

**Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:**

Студент будет знать:

- определения бизнес-процесса;
- классификацию бизнес-процессов;
- основные элементы бизнес-процесса и его окружение.

Студент будет уметь:

- определять владельца бизнес-процесса;
- определять цели бизнес-процесса. Определение границ и интерфейсов.
- определять входов и выходов бизнес-процесса.
- определять ресурсного окружения бизнес-процесса.
- определять ключевых показателей результативности бизнес-процесса.

**Формируемые компетенции:** УК-1, ПК-1, ПК-2

**Актуальность темы:** Высокий уровень конкуренции и растущие потребности клиентов приводят к тому, что длительность жизненного цикла продуктов стремительно сокращается. Компаниям приходится активно заниматься инновациями, как можно быстрее выводить на рынок новые продукты и связанные с ними дополнительные услуги. И в этой связи важное значение приобретает знание особенностей формирования бизнес-процесса.

### ***Теоретическая часть***

В настоящее время существует множество определений или интерпретаций понятия бизнес-процесс (БП).

В зависимости от задач внимание авторов акцентируется лишь на одном или нескольких его ключевых свойствах. Например:

- 1.БП как целевая организационная деятельность (действия);
- 2.Поставка продукта (услуги/товара) внешнему потребителю;
- 3.Формирование прибавочной и/или потребительной стоимости; и т.д.

«Ключевые» свойства, используемые для определения отличий понятия «бизнес-процесс» от понятия «процесс» зависят от решаемых задач и после их детального изучения оказываются необоснованными.

БП как целевая организационная деятельность (действия)

Обратим внимание на прямой перевод английского слова «business» на русский язык как «деятельность», а также практически полную лингвистическую идентичность этих понятий. Понятие «деятельность» является базовой категорией, используемой для описания форм существования индивида. Отсюда очевидно, что иных процессов, кроме процессов «деятельности» в организациях не существует. Поэтому, предположение наличия в организациях иных процессов, кроме процессов деятельности или БП, по правилам лингвистики является некорректным.

Поставка продукта (услуги/товара) внешнему потребителю

Всем процессам организации свойственно экономическое содержание, т.е. у каждого процесса есть свой потребитель и, следовательно, свой продукт. Поскольку у каждого процесса есть свой исполнитель, то процесс является одним из обязательных атрибутов деятельности исполнителя. Следовательно, любой процесс — это процесс деятельности или бизнес-процесс.

Формирование прибавочной и/или потребительной стоимости

По Карлу Марксу прибавочная стоимость формируется за счет потребления производственным процессом «добавочного времени», которое исполнитель процесса «дарит» производству. Т.е., строго говоря, сам бизнес-процесс не всегда формирует прибавочную

стоимость, а делает это только в «добавочное время». Отсюда вывод — прибавочная стоимость — это не признак БП.

Существуют и другие определения бизнес-процесса.

Понятие «бизнес-процесс» относим ко всем процессам организации.

Использование понятия «бизнес-процесс» вызвано сложившимися традициями и является разумным с учетом того, что понятие процесс используется в других областях знания

(математика, физика и т.д.) совсем в другом контексте.

Название (определение) процесса

Реализуемая функция или их последовательность

Участники процесса

Ответственное лицо – владелец процесса

Входные и выходные потоки, а так же их поставщики (или потребители)

Требуемые ресурсы (производственные, технические, материальные, информационные)

Определяющая цель (цели) процесса

Метрики процесса, точки и процедуры мониторинга процесса

Возможные риски и влияния процесса на субъектов процесса

Документ - описание процесса

Каждый процесс должен иметь цель или систему целей, на достижение которых он направлен

Цели определяются исходя из требований потребителей результатов (выходных потоков) процесса

Цели могут меняться с течением времени. Например, на начальном этапе жизненного цикла процесса для потребителей важно качество выходной продукции. По прошествии времени, когда процесс выстроен и оптимизирован так, что качество продукции гарантируется, целью процесса может стать получение выходной продукции за заданный интервал времени

Желательно формулировать одну, наиболее важную цель процесса, поскольку на ее основе формируется метрика процесса. Использование нескольких целей потребует определения ее интегральной оценки путем введения весовых коэффициентов, определение которых в большинстве случаев весьма затруднительно. Единая интегральная оценка необходима для определения одной метрики процесса

Документирование – первый шаг к совершенствованию процессов. Цель документирования процессов – описание их текущего состояния. При документировании процессов необходимо стремиться к описанию реального, а не идеального состояния.

Описание процессов необходимо при документировании, инжиниринге, реинжиниринге и совершенствовании процессов.

Цели описания процессов:

Разработка системы управления бизнес-процессами; Внедрение стандартных методов представления и описания бизнес-процессов;

Снижение стоимости и повышение качества выполнения бизнес-процессов; Стимулирование обсуждения регламентов взаимодействия между

подразделениями; Создание упорядоченной структуры взаимосвязанных бизнес-процессов системы

менеджмента качества, однозначно понимаемой всеми сотрудниками организации;

Получение возможности повторного использования отдельных процессов в

других процессах (использование модульного принципа); Поддержка управления работающими бизнес-процессами;

Прежде, чем внести улучшения в бизнес-процесс, необходимо знать его текущее состояние.

Поэтому, первым шагом любой деятельности по совершенствованию бизнес-процессов будет его документирование, т.е. описание текущего состояния процесса. При этом необходимо описывать фактическое состояние процесса, а не идеальное, которое представляется по существующим в организации документам и инструкциям.

На практике используются 2 различных подхода к документированию процессов:

Документирование конкретного процесса

Документирование сразу всех или подавляющего числа процессов организации

Первый подход используется в связи с проектами, включающими конкретный процесс, например, для сертификации по стандарту ИСО 9000.

Второй подход к документированию представляется более ценным, т.к. позволяет получить более глубокие и системные знания об организации.

Для идентификации процессов существует два основных подхода:

1) Составление списка всех процессов, имеющих ключевое значение для организации;

2) Систематический подход – последовательное выделение следующих элементов: стратегии организации, которая определяется и формируется:

заинтересованными сторонами, которые:

имеют определенные ожидания в отношении продукции организации, благодаря:

бизнес-процессам, с помощью которых производят эту продукцию или услуги, а также обеспечивают поддержку и возможность их производства.

Классификация процессов

Основные процессы:

- Добавляют качество;

- Кросс-функциональны в рамках предприятия;

- Взаимодействуют как с клиентами, так и с партнерами.

В организации выделяются не более 20 основных бизнес-процессов.

Процессы управления Управление организацией как единой системой:

- Целеполагание, планирование, контроль достижения целей<sup>4</sup>

- Анализ и выработка корректирующих воздействий;

- Координация действий отдельных элементов.

Владелец процесса – лицо (бизнес-роль), несущее полную ответственность за процесс и наделенное полномочиями в отношении этого процесса. Владелец не касается функций, выполняемых в рамках процесса отдельными исполнителями, ему важна успешная реализация всего процесса.

Владелец процесса обеспечивает взаимодействие с поставщиками входных потоков процесса и с потребителями его результатов.

Критерии выбора владельца процесса:

Детальное знание бизнес-процесса, компетентность и профессиональные знания

Возможность влиять на людей и способствовать изменениям. Надо помнить, что любые изменения будут внедряться извне функционально-линейной иерархии, поэтому существует большая вероятность конфликтов

Коммуникативные способности

Понимание важности порученного дела и надлежащая мотивация

Семь свойств процесса

1) Результативность – характеризует соответствие результатов процесса нуждам и ожиданиям потребителей;

2) Определенность – отражает степень, с которой реальный процесс соответствует описанию;

3) Управляемость – характеризует степень, в которой производится управление выполнением процесса производства требуемых продуктов/услуг, отвечающих определенным целевым показателям;

4)Эффективность – отражает, насколько оптимально используются ресурсы при достижении необходимого результата процесса;

5)Повторяемость – характеризует способность процесса создавать выходные потоки с одинаковыми характеристиками при повторных его реализациях;

6)Гибкость (адаптируемость)– способность процесса приспосабливаться к изменениям внешних условий, перестраиваться так, чтобы не снижались ни результативность, ни эффективность;

7)Стоимость – определяет совокупную стоимость выполнения функций процесса и передачи результатов от одной функции к другой.

Мониторинг и измерение процессов

Организация должна применять подходящие методы мониторинга и, где это целесообразно, измерения процессов системы менеджмента качества. Эти методы должны демонстрировать способность процессов достигать запланированных результатов.

ИСО 9001-2000. Пункт 8.2.3.

Показатели, характеризующие свойства процесса:

Показатели результативности

Показатели определенности

Показатели управляемости

Показатели эффективности

Показатели повторяемости

Показатели гибкости

Для каждого процесса должны быть определены количественные или качественные величины - метрики, измерение которых позволит определить требуемые параметры.

Метрика процесса – количественная мера степени достижения процессом своей цели.

#### **Вопросы для собеседования:**

1. Системный подход к описанию экономических объектов: современные методы и тенденции.
  2. Процессный подход и процессно-ориентированная организация.
  3. Соотношение функционального и процессного подходов.
  4. Определения бизнес-процесса.
  5. Классификация бизнес-процессов.
  6. Основные элементы бизнес-процесса и его окружение.
  7. Определение владельца бизнес-процесса.
  8. Определение цели бизнес-процесса.
  9. Определение входов и выходов бизнес-процесса.
  - 10.Определение ресурсного окружения бизнес-процесса.
  - 11.Документирование бизнес-процесса.
1. Отражение процессного подхода в международных стандартах.
  2. Определение границ и интерфейсов.
  3. Определение ключевых показателей результативности бизнес-процесса.
  4. Расстановка контрольных точек для измерений.
  5. Мониторинг бизнес-процесса

#### **Практическое занятие № 2-3. Системный подход к анализу ОТЭП предприятия**

**Цель:** ознакомиться с построением матричных моделей

**Организационная форма:** решение типовых задач

**Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:**

Студент будет знать:

- понятие системного подхода;
  - связь между отдельными элементами системы и ОТЭП предприятия;
- Студент будет уметь:
- строить матричную модель ОТЭП .

**Формируемые компетенции:** УК-1, ПК-1, ПК-2

**Актуальность темы:** системный подход используется для решения множества задач и принятия решений в области экономики, что определяет актуальность темы практического занятия.

### **Методические указания**

Большое значение для управления экономической системой играет наличие в ней отдельных подсистем.

Под *экономической подсистемой* понимается такая совокупность элементов, теснота связи между которыми существенно превышает тесноту связи между выделенной совокупностью и окружающей средой.

Структура системы состоит из следующих компонентов:

- 1) вход;
- 2) процесс (операция);
- 3) выход;
- 4) обратная связь;
- 5) ограничения.

Схематично структура системы может быть представлена следующим образом (рис. 1).

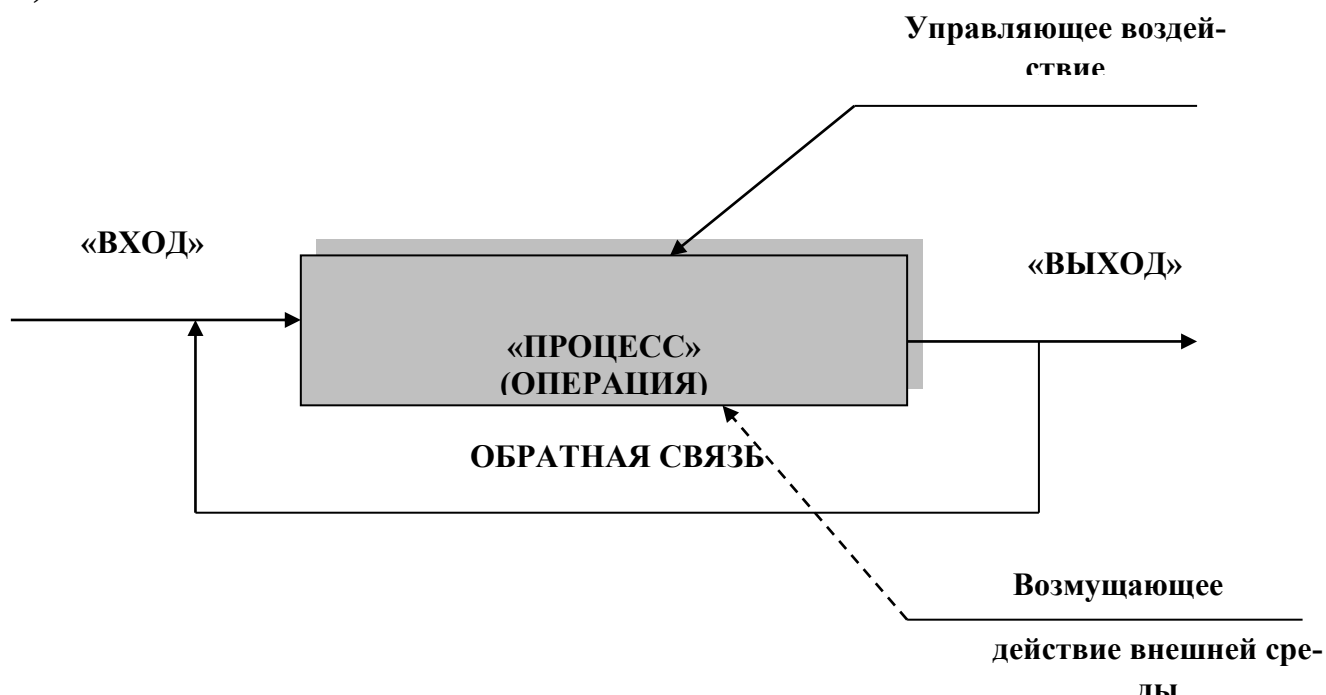


Рисунок 1 - Схематичное представление системы

«Вход» – это:

- 1) субстанция, которая поступает в систему и подвергается определенным преобразованиям (сырье, материалы, информация, энергия и т.д.);
- 2) внешняя окружающая среда или совокупность факторов и явлений, воздействующих на систему (природные условия, политическая обстановка и т.д.);
- 3) установленные способы функционирования элементов системы (инструкции, положения, приказы и т.п.).

Состояние «входов» называют импульсами.

«Процесс» переводит «вход» в «выход», и в то же время это внутренняя структура системы, т.е. ее каналы, по которым проходят сырье, материалы, информация и т.д. Для

экономических систем в частности, процессом являются процессы воспроизводства материальных, трудовых и финансовых ресурсов.

«Выход» - это продукт или результат деятельности системы. Он связывает систему с внешней средой. Отсутствие выхода делает невозможным существование системы. Состояние выхода называется реакцией, причем реакции имеют зависимый характер, а импульсы характер независимый, т.е. реакция является функцией импульсов.

«Обратная связь» представляет собой канал связи между «входом» и «выходом» системы, функционирующей либо прямо, либо через другие элементы системы, например, через органы управления. Обратная связь передает данные о функционировании управляемой системы с ее выходом в управляющий орган, где она сравнивается с заданными данными. При этом несоответствие с желаемым и существующим «выходом» называют проблемой. За обнаружение проблемы следует прогнозирование ее развития и оценка актуальности решений.

Структура системы элементов, входящие в различные потоки «входа», «процесса» и «выхода» может быть представлена следующим образом:

**«ВХОД» X:**

$$X = \{T, \Phi, M, D, И, У \dots\}$$

**«ПРОЦЕСС» У:**

$$У = \{ТЗ, ФЗ, П, ТУ..\}$$

**«ВЫХОД» Z:**

$$Z = \{B, N, И, Э, Т', Д', Ф'..\}$$

Множество показателей «входа» X включает:

T – трудовые ресурсы;

Φ – основные производственные фонды;

M – материальные ресурсы;

D – денежные средства (инвестиции, ассигнования, кредиты);

И – информация;

У – услуги, получаемые от других организаций и систем.

Множество показателей «процесса» У включает:

ТЗ – трудовые затраты;

ФЗ – фонд заработной платы;

П – производственная мощность;

ТУ – технический уровень производства.

Множество показателей «выхода» Z включает:

B – выпускаемая продукция;

N – объем работы в натуральном выражении;

И – информация, предоставляемая заказчиком, гос. Органам и т.д.;

Э – экономический эффект;

Т' – поток выбывающих из системы работников

Д' – поток выбывающих денежных средств;

Ф' – поток выбывающих основных фондов.

Множество показателей, определяющих «вход», «процесс» и «выход» любого производства, взаимосвязано. Эта связь может быть представлена в виде графа (рис. 2).

Граф – это математическое место точек, некоторые из которых соединены отрезками; одна из простейших математических моделей взаимодействующих систем. Применяется в электронике, экономике, кибернетике.

ориентированных дуг, выражающих прямые и обратные им связи между элементами (вершинами) и четыре петли – дуги, начало и конец которых совпадает (ТЗ – ТЗ, Φ – Φ, В – В, М – М).

Как видно из рисунка, рабочий своим трудом воздействует на орудия труда (связь 1) и с их помощью (связь 4) превращает предметы труда в готовые продукты труда (связь 5). В некоторых случаях воздействие рабочей силы на продукты труда осуществляется с

помощью связей 1- 6, например, перевозка готовой продукции на электрокаре; связи 2-5 – ручная обработка предметов труда.

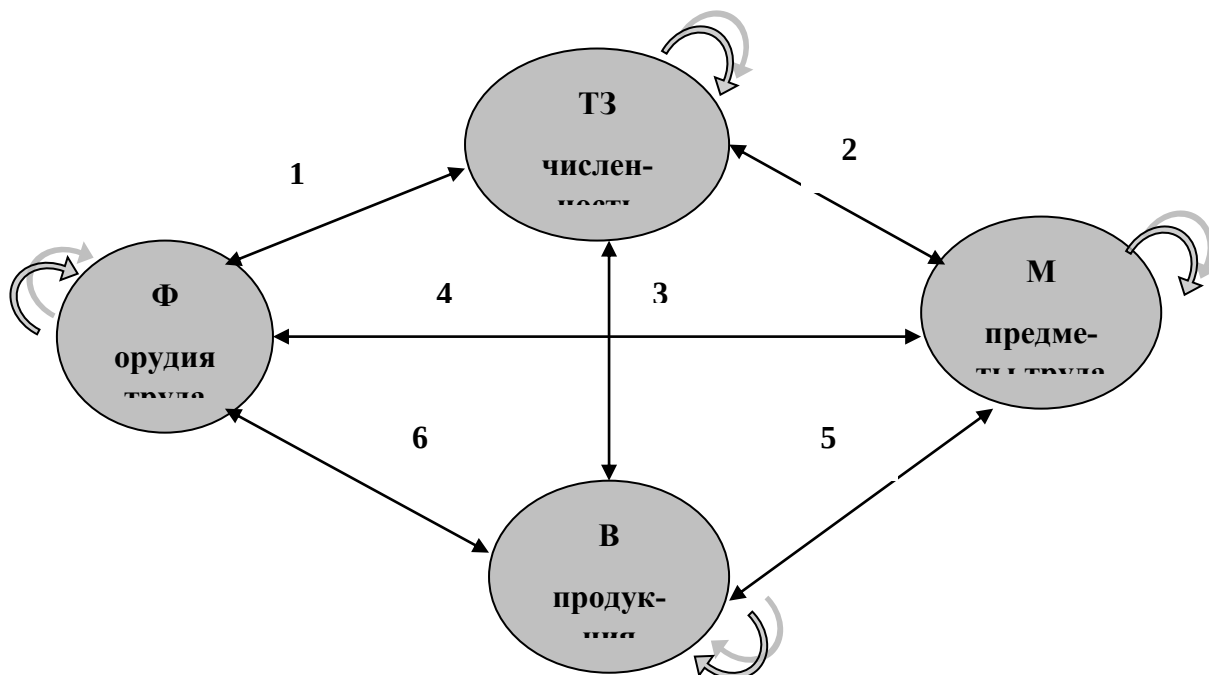


Рисунок 2 - Граф связей элементов

Из графа видно, что он охватывает четыре вершины: ТЗ, М, В, Ф; шесть

Связи между элементами процесса труда (производства) могут быть выражены с помощью пропорций, показывающих их отношение друг к другу. Пользуясь принципом пропорциональности и соотнеся различные показатели «входа», «процесса» и «выхода» системы друг с другом, можно построить матричную модель (табл. 1).

Таблица 1 - Матричная модель системы

|               | Шифр строк | Показатели «входа» X                    |                              |                     | Показатели «процесса» Y                                  | Показатели «выхода» Z |
|---------------|------------|-----------------------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|
|               |            | Численность, или трудовые затраты<br>ТЗ | Орудия и средства труда<br>Ф | Предметы труда<br>М | Себестоимость (ра-<br>продукции (ра-<br>бот, услуг)<br>С | Продукты труда<br>В   |
| Шифр столбцов | 00         | 01                                      | 02                           | 03                  | 04                                                       | 04                    |
| ТЗ            | 10         | $T_{TЗ} = 1$                            | $T_{Ф} = TЗ/Ф$               | $T_{М} = TЗ/М$      | $T_{С} = TЗ/С$                                           | $T_{В} = TЗ/В$        |
| Ф             | 20         | $Ф_{ТЗ} = Ф/ТЗ$                         | $Ф_{Ф} = 1$                  | $Ф_{М} = Ф/М$       | $Ф_{С} = Ф/С$                                            | $Ф_{В} = Ф/В$         |
| М             | 30         | $М_{ТЗ} = М/ТЗ$                         | $М_{Ф} = М/Ф$                | $М_{М} = 1$         | $М_{С} = М/С$                                            | $М_{В} = М/В$         |
| С             | 40         | $С_{ТЗ} = С/ТЗ$                         | $С_{Ф} = С/Ф$                | $С_{М} = С/М$       | $С_{С} = 1$                                              | $С_{В} = С/В$         |
| В             | 50         | $В_{ТЗ} = В/ТЗ$                         | $В_{Ф} = В/Ф$                | $В_{М} = В/М$       | $В_{С} = В/С$                                            | $В_{В} = 1$           |

Таблица содержит в тексте ряд известных и ряд новых показателей, которые можно назвать «показателями первого порядка». Строки – векторы представляют собой показатели трудоемкости, фондоемкости, материалоемкости, себестоимости и выработки продукции (работ, услуг). В свою очередь, каждый вектор – столбец представляет собой затраты рабочей силы (рабочего времени), основных производственных фондов, предметов

труда, себестоимости, стоимости продукции на единицу каждого из перечисленных ресурсов.

Представленная матрица обладает следующими свойствами:

- 1) Каждому элементу, находящемуся выше главной диагонали, соответствует обратный ему элемент, находящийся на таком же расстоянии от главной диагонали и наоборот. Эхта зависимость может быть выражена следующим образом:  $A_{ij} = 1 / A_{ji}$  или  $M_e = 1 / C_m$ .
- 2) При повышении эффективности производства и при данном расположении показателей, все показатели, находящиеся выше главной диагонали, имеют тенденцию к снижению, а ниже главной диагонали – к повышению.
- 3) Каждый показатель подлежащего таблицы равен произведению любого показателя, помещенного в данной строке в тексте таблицы на находящийся в этом же векторе-столбце показатель сказуемого, например,  $M = M_{ТЗ} \times ТЗ = M_B \times B$ ....
- 4) Каждый показатель, находящийся в тексте матрицы, является частным от деления какого-либо показателя – подлежащего на показатель сказуемого. Например,  $\Phi_c = \Phi / C$ .
- 5) Каждый показатель в сказуемом таблицы равен частному от деления любого показателя, стоящего в подлежащем таблицы, на показатель, находящийся в тексте таблицы на пересечении данных вектор- строки и вектор – столбца. Например,  $M = ТЗ / ТЗ_M = \Phi / \Phi_M$  и т.д.

Перечисленные закономерности дают возможность при системном анализе применять метод замены одних показателей другими. Например,  $B_{ТЗ} = B / ТЗ = B_\Phi \times \Phi_{ТЗ} = B_M \times M_{ТЗ}$ ....

Такой метод анализа и система моделей показателей позволяют комплексно характеризовать в одной таблице результаты работы анализируемой системы не одним показателем, а их совокупностью. С помощью матричной модели ТЭП производства можно оценить тип и формы расширенного воспроизводства.

### **Пример решения**

Применим этот подход к оценке технико-экономических показателей гипотетического предприятия:

Таблица 2 - Исходные данные

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в % к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|-----------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                       |
| Численность          | чел.      | Ч           | 208     | 186     | 89,4                  |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 4747    | 4581    | 96,5                  |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 32831   | 25260   | 76,9                  |
| Товарная продукция   | тыс. руб. | В           | 38750   | 31670   | 81,7                  |
| Себестоимость        | тыс. руб. | С           | 38229   | 28999   | 75,9                  |

Составляем матричную модель технико-экономических показателей для 2023 и 2024 года.

Матричная модель ТЭП для 2023 года:

Таблица 3 - Матричная модель ТЭП, 2023 год

|               | Шифр строк | Показатели «входа» X                    |                              |                     | Показатели «процесса» Y                                  | Показатели «выхода» Z |
|---------------|------------|-----------------------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|
|               |            | Численность, или трудовые затраты<br>ТЗ | Орудия и средства труда<br>Ф | Предметы труда<br>М | Себестоимость (ра-<br>продукции (ра-<br>бот, услуг)<br>С | Продукты труда<br>В   |
| Шифр столбцов | 00         | 01                                      | 02                           | 03                  | 04                                                       | 04                    |
| ТЗ            | 10         | $TZ_{ТЗ} = 1$                           | $TZ_\Phi = 0,0380$           | $TZ_M = 0,0101$     | $TZ_C = 0,0092$                                          | $TZ_B = 0,0089$       |

|   |    |                     |                     |                     |                     |                     |
|---|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ф | 20 | $\Phi_{ТЗ} = 26,33$ | $\Phi_{\Phi} = 1$   | $\Phi_{М} = 0,2668$ | $\Phi_{С} = 0,2422$ | $\Phi_{В} = 0,2331$ |
| М | 30 | $M_{ТЗ} = 98,69$    | $M_{\Phi} = 3,7479$ | $M_{М} = 1$         | $M_{С} = 0,9077$    | $M_{В} = 0,8736$    |
| С | 40 | $C_{ТЗ} = 108,73$   | $C_{\Phi} = 4,1291$ | $C_{М} = 1,1017$    | $C_{С} = 1$         | $C_{В} = 0,9625$    |
| В | 50 | $V_{ТЗ} = 112,97$   | $V_{\Phi} = 4,2901$ | $V_{М} = 1,1447$    | $V_{С} = 1,0390$    | $V_{В} = 1$         |

Аналогичную матрицу составляем для 2024 года:

Таблица 1.4 - Матричная модель ТЭП, 2024 год

|               | Шифр строк | Показатели «входа» X                    |                              |                     | Показатели «процесса» Y              | Показатели «выхода» Z |
|---------------|------------|-----------------------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------|
|               |            | Численность, или трудовые затраты<br>ТЗ | Орудия и средства труда<br>Ф | Предметы труда<br>М | Себестоимость (раб. бот, услуг)<br>С | Продукты труда<br>В   |
| Шифр столбцов | 00         | 01                                      | 02                           | 03                  | 04                                   | 04                    |
| ТЗ            | 10         | $T_{ТЗ} = 1$                            | $T_{\Phi} = 0,0406$          | $T_{М} = 0,0074$    | $T_{С} = 0,0064$                     | $T_{В} = 0,0059$      |
| Ф             | 20         | $\Phi_{ТЗ} = 24,63$                     | $\Phi_{\Phi} = 1$            | $\Phi_{М} = 0,1814$ | $\Phi_{С} = 0,1580$                  | $\Phi_{В} = 0,1446$   |
| М             | 30         | $M_{ТЗ} = 135,81$                       | $M_{\Phi} = 5,5141$          | $M_{М} = 1$         | $M_{С} = 0,8711$                     | $M_{В} = 0,7976$      |
| С             | 40         | $C_{ТЗ} = 155,91$                       | $C_{\Phi} = 6,3303$          | $C_{М} = 1,1480$    | $C_{С} = 1$                          | $C_{В} = 0,9157$      |
| В             | 50         | $V_{ТЗ} = 170,27$                       | $V_{\Phi} = 6,9133$          | $V_{М} = 1,2538$    | $V_{С} = 1,0921$                     | $V_{В} = 1$           |

Рассчитаем матрицу основных показателей производства.

Таблица 1.5 - Матрица технико-экономических показателей работы предприятия

|                    | Численность (ТЗ)           | Основные фонды (Ф) | Материалы (М)    | Продукция (В)    |
|--------------------|----------------------------|--------------------|------------------|------------------|
| Индекс             | $I_{ТЗ} = 87,32$           | $I_{\Phi} = 81,67$ | $I_{М} = 120,16$ | $I_{В} = 131,61$ |
| Численность (ТЗ)   | <i>Трудоемкость</i>        |                    |                  |                  |
| $I_{ТЗ} = 87,32$   | 100                        | 106,92             | 72,67            | 66,35            |
| Основные фонды (Ф) | <i>Фондоемкость</i>        |                    |                  |                  |
| $I_{\Phi} = 81,67$ | 93,53                      | 100                | 67,97            | 62,05            |
| Материалы (М)      | <i>Материалоемкость</i>    |                    |                  |                  |
| $I_{М} = 120,16$   | 137,60                     | 147,12             | 100              | 91,30            |
| Продукция (В)      | <i>Выработка продукции</i> |                    |                  |                  |
| $I_{В} = 131,61$   | 150,72                     | 161,15             | 109,53           | 100              |

Исходная вектор – строка индексов изменения показателей численности (ТЗ), основных фондов (Ф), материальных затрат (М) и выпуска продукции (В) имеет вид:

$$I_{В} > I_{М} > I_{ТЗ} > I_{\Phi}$$

или в цифровом выражении:

$$131,61 > 120,16 > 87,32 > 81,67$$

Остальные неравенства, составленные по столбцам, будут иметь следующий порядок элементов:

$$I_{ВТЗ} > I_{МТЗ} > 100 > I_{\PhiТЗ} \text{ или } 150,72 > 137,60 > 100 > 93,53$$

$$I_{ВФ} > I_{МФ} > I_{ТЗФ} > 100 \text{ или } 161,15 > 147,12 > 106,92 > 100$$

$$I_{ВМ} > 100 > I_{ТЗМ} > I_{\PhiМ} \text{ или } 109,53 > 100 > 72,67 > 67,97$$

$$100 > I_{ВВ} > I_{ТЗВ} > I_{\PhiВ} \text{ или } 100 > 91,30 > 66,35 > 62,05$$

Как видно из приведенных неравенств, индексы развития производства позволяют определить тип и формы расширенного воспроизводства.

Из того обстоятельства, что индекс роста основных производственных фондов ниже индекса роста численности основного производства, можно сделать вывод, что за рассматриваемый период существует экстенсивное производство. Индекс роста фондовооруженности ниже индекса роста производительности труда, а индекс  $I_{\text{ФТЗ}} < 1$ , следовательно, на предприятии существует нефондоемкая форма экстенсивного производства. Она же является нематериалоемкой, что видно из неравенства  $I_{\text{ВТЗ}} > I_{\text{МТЗ}}$ .

Для повышения эффективности производства необходимо, чтобы показатели, находящиеся выше главной диагонали, имели тенденцию к снижению. Однако у анализируемого предприятия лишь два из шести рассматриваемых показателей имеют соответствующую тенденцию. Следовательно, руководству фирмы необходимо обратить внимание на более интенсивное использование показателей «входа».

### **Варианты индивидуальных заданий**

#### **ВАРИАНТ 1**

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в %<br>к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|--------------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                          |
| Численность          | чел.      | Ч           | 325     | 301     |                          |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 56735   | 55459   |                          |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 34358   | 40974   |                          |
| Товарная продукция   | тыс. руб. | В           | 58061   | 65809   |                          |
| Себестоимость        | тыс. руб. | С           | 55781   | 59619   |                          |

#### **ВАРИАНТ 2**

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в %<br>к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|--------------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                          |
| Численность          | чел.      | Ч           | 248     | 194     |                          |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 30132   | 44951   |                          |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 37833   | 40186   |                          |
| Товарная продукция   | тыс. руб. | В           | 77283   | 71626   |                          |
| Себестоимость        | тыс. руб. | С           | 66223   | 61886   |                          |

#### **ВАРИАНТ 3**

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в %<br>к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|--------------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                          |
| Численность          | чел.      | Ч           | 391     | 363     |                          |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 32715   | 31060   |                          |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 33352   | 30109   |                          |
| Товарная продукция   | тыс. руб. | В           | 64056   | 74847   |                          |
| Себестоимость        | тыс. руб. | С           | 53703   | 62123   |                          |

#### **ВАРИАНТ 4**

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в %<br>к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|--------------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                          |
| Численность          | чел.      | Ч           | 289     | 394     |                          |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 65642   | 67739   |                          |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 36917   | 33161   |                          |

|                    |           |   |       |       |  |
|--------------------|-----------|---|-------|-------|--|
| Товарная продукция | тыс. руб. | В | 79255 | 63746 |  |
| Себестоимость      | тыс. руб. | С | 50978 | 54380 |  |

#### ВАРИАНТ 5

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в %<br>к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|--------------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                          |
| Численность          | чел.      | Ч           | 269     | 381     |                          |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 66253   | 65484   |                          |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 48090   | 45281   |                          |
| Товарная продукция   | тыс. руб. | В           | 76069   | 77086   |                          |
| Себестоимость        | тыс. руб. | С           | 52401   | 55601   |                          |

#### ВАРИАНТ 6

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в %<br>к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|--------------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                          |
| Численность          | чел.      | Ч           | 324     | 380     |                          |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 27139   | 21847   |                          |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 34743   | 38155   |                          |
| Товарная продукция   | тыс. руб. | В           | 67612   | 60018   |                          |
| Себестоимость        | тыс. руб. | С           | 50347   | 54944   |                          |

#### ВАРИАНТ 7

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в %<br>к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|--------------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                          |
| Численность          | чел.      | Ч           | 358     | 365     |                          |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 51932   | 59494   |                          |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 20044   | 35719   |                          |
| Товарная продукция   | тыс. руб. | В           | 58711   | 71342   |                          |
| Себестоимость        | тыс. руб. | С           | 47114   | 51300   |                          |

#### ВАРИАНТ 8

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в %<br>к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|--------------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                          |
| Численность          | чел.      | Ч           | 286     | 318     |                          |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 69220   | 66005   |                          |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 37422   | 30329   |                          |
| Товарная продукция   | тыс. руб. | В           | 72270   | 60766   |                          |
| Себестоимость        | тыс. руб. | С           | 51238   | 49425   |                          |

#### ВАРИАНТ 9

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в %<br>к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|--------------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                          |
| Численность          | чел.      | Ч           | 156     | 191     |                          |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 15860   | 14007   |                          |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 44625   | 32216   |                          |

|                    |           |   |       |       |  |
|--------------------|-----------|---|-------|-------|--|
| Товарная продукция | тыс. руб. | В | 64470 | 65399 |  |
| Себестоимость      | тыс. руб. | С | 59930 | 52739 |  |

#### ВАРИАНТ 10

| Показатели           | ед. изм.  | усл. обозн. | Годы    |         | 2024 г. в %<br>к 2023 г. |
|----------------------|-----------|-------------|---------|---------|--------------------------|
|                      |           |             | 2023 г. | 2024 г. |                          |
| Численность          | чел.      | Ч           | 374     | 327     |                          |
| Основные фонды       | тыс. руб. | Ф           | 63593   | 65695   |                          |
| Материальные затраты | тыс. руб. | М           | 22175   | 20534   |                          |
| Товарная продукция   | тыс. руб. | В           | 65150   | 79248   |                          |
| Себестоимость        | тыс. руб. | С           | 32747   | 34575   |                          |

#### Задание

##### Базовый уровень

1. Составьте матрицу ОТЭП для 2023 года
2. Составьте матрицу ОТЭП для 2024 года
3. Составьте обобщенную матрицу ОТЭП

##### Повышенный уровень

4. Определите тип и формы расширенного воспроизводства
5. Предложите мероприятия по повышению эффективности работы предприятия

## ТЕМА 2. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

### Практическая работа № 4 Решение транспортной задачи

**Цель:** сформировать навыки построения моделей линейного программирования

**Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:**

Студент будет знать:

- основы линейного программирования.

Студент будет уметь:

- осуществлять решение транспортных задач.

**Формируемые компетенции:** УК-1, ПК-1, ПК-2

**Актуальность темы:** Значительное количество экономических, технических и других процессов достаточно хорошо и полно описывается линейными моделями.

#### Методические указания

Транспортная задача линейного программирования получила в настоящее время широкое распространение в теоретических обработках и практическом применении на транспорте и в промышленности. Особенно важное значение она имеет в деле рационализации постановок важнейших видов промышленной и сельскохозяйственной продукции, а также оптимального планирования грузопотоков и работы различных видов транспорта.

Кроме того, к задачам транспортного типа сводятся многие другие задачи линейного программирования - задачи о назначениях, сетевые, календарного планирования.

Транспортная задача является частным типом задачи линейного программирования и формулируется следующим образом. Имеется  $m$  пунктов отправления (или пунктов производства)  $A_1, \dots, A_m$ , в которых сосредоточены запасы однородных продуктов в количестве  $a_1, \dots, a_m$  единиц. Имеется  $n$  пунктов назначения (или пунктов потребления)  $B_1, \dots, B_n$ , потребность которых в указанных продуктах составляет  $b_1, \dots, b_n$  единиц. Известны также транспортные расходы  $C_{ij}$ , связанные с перевозкой единицы продукта из пункта  $A_i$  в пункт  $B_j$ ,  $i = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, n$ . Предположим, что

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

т. е. общий объем производства равен общему объему потребления. Требуется составить такой план перевозок (откуда, куда и сколько единиц продукта везти), чтобы удовлетворить спрос всех пунктов потребления за счет реализации всего продукта, произведенного всеми пунктами производства, при минимальной общей стоимости всех перевозок. Приведенная формулировка транспортной задачи называется *замкнутой транспортной моделью*. Формализуем эту задачу.

Пусть  $x_{ij}$  - количество единиц продукта, поставляемого из пункта  $A_i$  в пункт  $B_j$ . Подлежащие минимизации суммарные затраты на перевозку продуктов из всех пунктов производства во все пункты потребления выражаются формулой:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

Суммарное количество продукта, направляемого из каждого пункта отправления во все пункты назначения, должно быть равно запасу продукта в данном пункте. Формально это означает, что

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, \dots, m \quad (2.2)$$

Суммарное количество груза, доставляемого в каждый пункт назначения из всех пунктов отправления, должно быть равно потребности. Это условие полного удовлетворения спроса:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

Объемы перевозок - неотрицательные числа, так как перевозки из пунктов потребления в пункты производства исключены:

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (2.4)$$

Транспортная задача сводится, таким образом, к минимизации суммарных затрат при выполнении условий полного удовлетворения спроса и равенства вывозимого количества продукта запасам его в пунктах отправления.

Очевидно, общее наличие груза у поставщиков равно  $\sum_{i=1}^m a_i$ , а общая потребность в грузе в пунктах назначения равна единице. Если общая потребность в грузе в пунктах назначения равна запасу груза в пунктах отправления, т.е.

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j, \quad (2.5)$$

то модель такой транспортной задачи называется *закрытой*.

Как и при решении задачи линейного программирования, симплексным методом, определение оптимального плана транспортной задачи начинают с нахождения какого-нибудь ее опорного плана.

Число переменных  $x_{ij}$  в транспортной задаче с  $m$  пунктами отправления и  $n$  пунктами назначения равно  $nm$ , а число уравнений в системах (2.2) и (2.3) равно  $(n+m)$ . Так как предполагаем, что выполняется условие (2.5), то число линейно независимых уравнений равно  $(n+m-1)$  отличных от нуля неизвестных.

Если в опорном плане число отличных от нуля компонентов равно в точности  $(n+m-1)$ , то план является *не выраженным*, а если меньше - то *выраженным*.

Суть *метода минимального элемента* заключается в том, что из всей таблицы стоимостей выбирают наименьшую и в клетку, которая ей соответствует, помещают меньшее из чисел  $a_i$  и  $b_j$ . Затем из рассмотрения исключают либо строку, соответствующую поставщику, запасы которого полностью израсходованы, либо столбец, соответствующий потребителю, потребности которого полностью удовлетворены, либо и строку и столбец, если израсходованы запасы поставщика и удовлетворены потребности потребителя. Из

оставшейся части таблицы стоимостей снова выбирают наименьшую стоимость, и процесс распределения запасов продолжают, пока все запасы не будут распределены, а потребности удовлетворены.

Метод потенциалов является модификацией симплекс-метода решения задачи линейного программирования применительно к транспортной задаче. Он позволяет, отправляясь от некоторого допустимого решения, получить оптимальное решение за конечное число итераций.

Алгоритм начинается с выбора некоторого допустимого базисного плана (первоначальный план перевозок, составленный, например, методом северо-западного угла). Если данный план не вырожденный, то он содержит  $m+n-1$  ненулевых базисных клеток, и по нему можно так определить потенциалы  $u_i$  и  $v_j$ , чтобы для каждой базисной клетки (т.е. для той, в которой  $x_{ij} > 0$ ) выполнялось условие:

$$v_j - u_i = c_{ij}, \text{ если } x_{ij} > 0, \quad (2.6)$$

Переменные  $u_i$  называют *потенциалами пунктов производства*, а  $v_j$  — *потенциалами пунктов потребления*.

Для этого составляется система для заполненных клеток плана перевозок:  $v_j - u_i = c_{ij}$ ; где  $c_{ij}$  - стоимость перевозки из пункта  $i$  в пункт  $j$ .

Поскольку система (5.6) содержит  $(m+n-1)$  уравнение и  $(m+n)$  неизвестных, то один из потенциалов можно задать произвольно (например, приравнять  $v_1$  или  $u_1$  к нулю).

После этого остальные неизвестные  $v_j$  и  $u_i$  - определяются однозначно.

*Критерий оптимальности.*

Для того, чтобы допустимый план транспортной задачи  $x_{ij}$  был оптимальным, необходимо и достаточно, чтобы нашлись такие потенциалы  $u_i, v_j$ , для которых

$$v_j - u_i = c_{ij}, \text{ если } x_{ij} > 0, \quad (2.7)$$

$$v_j - u_i \leq c_{ij}, \text{ если } x_{ij} = 0 \quad (2.8)$$

Для свободных клеток рассчитываются оценки по формуле:

$$W_{ij} = c_{ij} - (v_j + u_i) \quad (2.9)$$

Если все  $W_{ij} \geq 0$ , то полученный план является оптимальным. Если есть хотя бы один отрицательный элемент, необходимо улучшение опорного плана. Для того, чтобы найти новый план перевозок необходимо составить цикл пересчета.

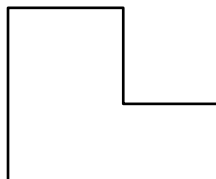
*Циклом* в транспортной задаче будем называть несколько занятых клеток, соединённых замкнутой, ломанной линией, которая в каждой клетке совершает поворот на  $90^\circ$ .

Существует несколько вариантов цикла:

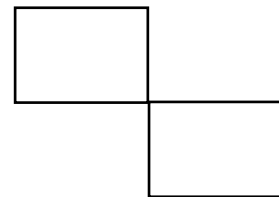
1)



2)



3)



Нетрудно убедиться, что каждый цикл имеет чётное число вершин и значит, чётное число звеньев (стрелок). Условимся отмечать знаком  $+$  те вершины цикла, в которых перевозки необходимо увеличить, а знаком  $-$ , те вершины, в которых перевозки необходимо уменьшить. Цикл с отмеченными вершинами будем называть *означенным*.

Перенести какое-то количество единиц груза по означенному циклу, это значит увеличить перевозки, стоящие в положительных вершинах цикла, на это количество единиц, а перевозки, стоящие в отрицательных вершинах уменьшить на то же количество. Назовём *ценой цикла* увеличение стоимости перевозок при перемещении одной единицы груза по означенному циклу. Очевидно, цена цикла равна алгебраической сумме стоимостей, стоящих в вершинах цикла, причём стоящие в положительных вершинах берутся со знаком  $+$ , а в отрицательных со знаком  $-$ . Обозначим цену

Метод последовательного улучшения плана перевозок и состоит в том, что в таблице отыскиваются циклы с отрицательной ценой, по ним перемещаются перевозки, и план улучшается до тех пор, пока циклов с отрицательной ценой уже не останется. При улучшении плана циклическими переносами, как правило, пользуются приёмом, заимствованным из симплекс-метода: при каждом шаге (цикле) заменяют одну свободную переменную на базисную, то есть заполняют одну свободную клетку и взамен того освобождают одну из базисных клеток. При этом общее число базисных клеток остаётся неизменным и равным  $m + n - 1$ . Этот метод удобен тем, что для него легче находить подходящие циклы.

Применённый выше метод отыскания оптимального решения транспортной задачи называется *распределённым*; он состоит в непосредственном отыскании свободных клеток с отрицательной ценой цикла и в перемещении перевозок по этому циклу.

### Пример решения

| A <sub>i</sub> , B <sub>j</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> | Σa <sub>i</sub> |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| A <sub>1</sub>                  | 7              | 8              | 1              | 3              | 110             |
| A <sub>2</sub>                  | 2              | 4              | 5              | 9              | 110             |
| A <sub>3</sub>                  | 6              | 3              | 5              | 2              | 80              |
| Σb <sub>j</sub>                 | 50             | 90             | 90             | 70             |                 |

| A <sub>i</sub> , B <sub>j</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> | Σa <sub>i</sub> |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| A <sub>1</sub>                  | 7              | 8              | 1              | 3              | 110             |
|                                 | -              | 20             | 90             | -              |                 |
|                                 |                | 18             |                |                |                 |

|                 |         |         |        |         |     |
|-----------------|---------|---------|--------|---------|-----|
| A <sub>2</sub>  | 2<br>50 | 4<br>60 | 5<br>- | 9<br>-  | 110 |
| A <sub>3</sub>  | 6<br>-  | 3<br>10 | 5<br>- | 2<br>70 | 80  |
| Σb <sub>j</sub> | 50      | 90      | 90     | 70      | 300 |

$$Z = 20 \cdot 8 + 90 \cdot 1 + 50 \cdot 2 + 60 \cdot 4 + 10 \cdot 3 + 70 \cdot 2 = 760$$

Составим систему потенциалов для заполненных клеток таблицы:

$$u_1 + v_2 = 8$$

$$u_1 + v_3 = 1$$

$$u_2 + v_1 = 2$$

$$u_2 + v_2 = 4$$

$$u_3 + v_2 = 3$$

$$u_3 + v_4 = 2$$

Тогда:

$$u_1 = 0 \quad v_1 = 6$$

$$u_2 = -4 \quad v_2 = 8$$

$$u_3 = -5 \quad v_3 = 1$$

$$v_4 = 7$$

Рассчитаем оценки свободных клеток:

$$W_{11} = 7 - (0 + 6) = 1$$

$$W_{14} = 3 - (0 + 7) = -4 \rightarrow \min$$

$$W_{23} = 5 - (-4 + 1) = 8$$

$$W_{24} = 9 - (-4 + 7) = 6$$

$$W_{31} = 6 - (-5 + 6) = 5$$

$$W_{33} = 5 - (-5 + 1) = 9$$

Так как оценки свободных клеток содержат отрицательные значения, план не является оптимальным. Для его улучшения строим цикл, по которому перемещаем груз.

|                                 |                |                |                |                |                 |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| A <sub>i</sub> , B <sub>j</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> | Σa <sub>i</sub> |
| A <sub>1</sub>                  | 7<br>-         | 8<br>-         | 1<br>90        | 3<br>20        | 110             |
| A <sub>2</sub>                  | 2<br>50        | 4<br>60        | 5<br>-         | 9<br>-         | 110             |
| A <sub>3</sub>                  | 6<br>-         | 3<br>30        | 5<br>-         | 2<br>50        | 80              |
| Σb <sub>j</sub>                 | 50             | 90             | 90             | 70             | 300             |

Новый опорный план транспортной задачи проверяем на оптимальность:

$$u_1 + v_3 = 1$$

$$u_1 + v_4 = 3$$

$$u_2 + v_1 = 2$$

$$u_2 + v_2 = 4$$

$$u_3 + v_2 = 3$$

$$u_3 + v_4 = 2$$

Тогда:

$$u_1 = 0 \quad v_1 = 2$$

$$u_2 = 0 \quad v_2 = 4$$

$$u_3 = -1 \quad v_3 = 1$$

$$v_4 = 3$$

Рассчитаем оценки свободных клеток:

$$W_{11} = 7 - (0+2) = 5$$

$$W_{12} = 8 - (0+4) = 4$$

$$W_{23} = 5 - (0+1) = 4$$

$$W_{24} = 9 - (0+3) = 6$$

$$W_{31} = 6 - (-1+2) = 5$$

$$W_{33} = 5 - (-1+1) = 5$$

Так как все оценки свободных клеток положительны, найден оптимальный план.

Тогда минимальные транспортные затраты составят:

$$Z_{\min} = 90 \cdot 1 + 20 \cdot 3 + 50 \cdot 2 + 60 \cdot 4 + 30 \cdot 3 + 50 \cdot 2 = 680$$

### Варианты индивидуальных заданий

#### ВАРИАНТ 1

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $B_5$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 2     | 4     | 5     | 7     | 9     | 300        |
| $A_2$      | 1     | 6     | 3     | 5     | 4     | 400        |
| $A_3$      | 6     | 3     | 2     | 1     | 10    | 900        |
| $\sum b_j$ | 250   | 300   | 350   | 500   | 200   |            |

#### ВАРИАНТ 2

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $B_5$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 7     | 4     | 15    | 9     | 14    | 120        |
| $A_2$      | 11    | 2     | 7     | 3     | 10    | 150        |
| $A_3$      | 4     | 5     | 12    | 8     | 17    | 100        |
| $\sum b_j$ | 65    | 90    | 60    | 70    | 85    |            |

#### ВАРИАНТ 3

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $B_5$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 2     | 4     | 5     | 7     | 9     | 300        |
| $A_2$      | 1     | 6     | 3     | 5     | 4     | 400        |
| $A_3$      | 6     | 3     | 2     | 1     | 10    | 900        |
| $\sum b_j$ | 250   | 300   | 350   | 500   | 200   |            |

#### ВАРИАНТ 4

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $B_5$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 2     | 10    | 15    | 14    | 4     | 150        |
| $A_2$      | 3     | 7     | 12    | 5     | 8     | 170        |
| $A_3$      | 21    | 18    | 6     | 13    | 16    | 260        |
| $\sum b_j$ | 100   | 90    | 160   | 150   | 80    |            |

#### ВАРИАНТ 5

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $B_5$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 14    | 8     | 17    | 5     | 3     | 120        |
| $A_2$      | 21    | 10    | 7     | 11    | 6     | 180        |
| $A_3$      | 3     | 5     | 8     | 4     | 9     | 230        |
| $\sum b_j$ | 70    | 120   | 105   | 125   | 110   |            |

#### ВАРИАНТ 6

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $B_5$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 12    | 9     | 7     | 11    | 6     | 175        |
| $A_2$      | 4     | 3     | 12    | 2     | 8     | 165        |
| $A_3$      | 5     | 17    | 9     | 4     | 11    | 180        |
| $\sum b_j$ | 90    | 120   | 110   | 130   | 70    |            |

#### ВАРИАНТ 7

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $B_5$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|

|                |     |     |     |     |     |     |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| A <sub>1</sub> | 3   | 8   | 7   | 11  | 15  | 260 |
| A <sub>2</sub> | 14  | 3   | 1   | 8   | 6   | 400 |
| A <sub>3</sub> | 9   | 5   | 16  | 7   | 12  | 240 |
| $\sum b_j$     | 180 | 200 | 190 | 230 | 100 |     |

#### ВАРИАНТ 8

| A <sub>i</sub> , B <sub>j</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> | B <sub>5</sub> | $\sum a_i$ |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| A <sub>1</sub>                  | 2              | 4              | 11             | 5              | 3              | 250        |
| A <sub>2</sub>                  | 8              | 17             | 13             | 7              | 6              | 300        |
| A <sub>3</sub>                  | 14             | 10             | 5              | 8              | 9              | 270        |
| $\sum b_j$                      | 120            | 200            | 190            | 230            | 80             |            |

#### ВАРИАНТ 9

| A <sub>i</sub> , B <sub>j</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> | B <sub>5</sub> | $\sum a_i$ |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| A <sub>1</sub>                  | 21             | 18             | 14             | 3              | 6              | 370        |
| A <sub>2</sub>                  | 7              | 11             | 10             | 5              | 12             | 450        |
| A <sub>3</sub>                  | 4              | 8              | 12             | 8              | 13             | 430        |
| $\sum b_j$                      | 300            | 230            | 330            | 290            | 100            |            |

#### ВАРИАНТ 10

| A <sub>i</sub> , B <sub>j</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> | B <sub>5</sub> | $\sum a_i$ |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| A <sub>1</sub>                  | 3              | 10             | 15             | 17             | 9              | 560        |
| A <sub>2</sub>                  | 2              | 16             | 3              | 15             | 4              | 570        |
| A <sub>3</sub>                  | 8              | 5              | 12             | 14             | 7              | 620        |
| $\sum b_j$                      |                |                |                |                |                |            |

### Практическое занятие № 5-7. *Нахождение оптимальной производственной программы*

**Цель:** ознакомиться с основными параметрами и ключевыми характеристиками бизнес-процессов, получить навыки оптимизации производственной программы предприятия

**Организационная форма:** решение типовых задач

**Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:**

Студент будет знать:

- определения бизнес-процесса;
- классификацию бизнес-процессов;
- основные элементы бизнес-процесса и его окружение.

Студент будет уметь:

- составлять модель оптимизации производственной программы предприятия;
- реализовывать модель оптимизации с помощью средств ЭВМ.

**Формируемые компетенции:** УК-1, ПК-1, ПК-2

**Актуальность темы:** Высокий уровень конкуренции и растущие потребности клиентов приводят к тому, что длительность жизненного цикла продуктов стремительно сокращается. Компаниям приходится активно заниматься инновациями, как можно быстрее выводить на рынок новые продукты и связанные с ними дополнительные услуги. И в этой связи важное значение приобретает знание особенностей формирования бизнес-процесса.

#### *Теоретическая часть*

Производственная программа отражает основные направления и задачи развития предприятия в плановом периоде, производственно-хозяйственные связи с другими предприятиями, профиль и степень специализации и комбинирования производства. Основные разделы производственной программы для предприятий, занятых производством материального продукта:

1. план по производству товарной (валовой) продукции;

2. план выпуска продукции на экспорт;
3. план по повышению качества продукции;
4. план реализации продукции.

Формирование разделов производственной программы осуществляется с применением балансового метода, позволяющего приводить в соответствие объемы планируемых работ и потребности на них, а также осуществлять расчеты обеспеченности производственной программы производственными мощностями, материальными, топливно-энергетическими и трудовыми ресурсами.

Производственная программа предприятия составляется обычно на год с разбивкой по кварталам и месяцам.

Существует большое количество методов, применяемых для определения плана деятельности различных предприятий. К таким методам можно отнести: технико-экономическое обоснование плановых проектировок, программно-целевой, балансовый, метод многовариантных расчетов, экономико-математические методы.

Более перспективны для использования экономико-математические методы, позволяющие на основе математического моделирования создать модели, которые позволят оптимизировать производственную программу с интересующим в данный момент критерием оптимальности. Суть данного критерия состоит в том, чтобы с наибольшей выгодой использовать имеющиеся ресурсы. Причем особая сложность разработки производственной программы состоит в том, что она должна удовлетворять потребности не только покупателей, потребности рынка, но и соответствовать ресурсам предприятия, учитывать его объективные возможности, то есть возникает задача чисто оптимизационного характера. Для определения оптимальной производственной программы и мощности применяются методы линейного программирования с использованием ЭВМ.

Математическая модель производственной программы выглядит следующим образом:

$$x_j \geq N_{j\text{дог}} \quad (.1)$$

$$x_j \leq N_{j\text{зак}} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m C_j x_j \geq R \quad (4)$$

$$f = \sum_{j=1}^m c_j x_j \rightarrow \max, \quad (5)$$

где  $x_j$  - объем производства  $j$  продукции;

$N_{j\text{дог}}$  - объем поставок по договорам;

$N_{j\text{зак}}$  - объем поставок по заявкам;

$a_{ij}$  - норма расхода  $i$ -го ресурса на единицу  $j$ -ой продукции;

$b_i$  - объем  $i$ -го ресурса, которым обладает предприятие;

$C_j$  - цена единицы  $j$ -ой продукции;

$R$  - объем реализации продукции на рынке;

$c_j$  - критериальная оценка эффективности производства и реализации единицы  $j$ -ой продукции;

$n$  - перечень ресурсов, используемых в производственном процессе;

$m$  - ассортимент продукции.

### **Пример решения**

В соответствии с планом вышестоящей организации промышленное предприятие должно выпускать 10 наименований продукции. От торговых организаций на предприятие поступили заявки на поставку различных изделий 12-ти наименований. После проведения государственной аттестации, первые 3 вида продукции были удостоены высшей категории

качества. Обработка и изготовление продукции осуществляется с помощью оборудования 7 групп. В процессе производства заняты рабочие и служащие 15-ти различных профессий, специальностей и уровней квалификации. При этом используется 6 различных видов сырья и материалов на объем поставки которых установлены ограничения.

**Задание:**

Составить оптимальную производственную программу, определить производственную мощность предприятия, плановый уровень ее использования.

Рассчитать плановую численность работающих по категориям и по предприятию в целом, если годовой фонд времени 1 работающего 2000 часов.

Определить плановый уровень производительности труда на предприятии.

Установить потребность в различных видах сырья для выполнения производственной программы, объем реализации продукции, объем чистой продукции высшей категории качества, уровень затрат на 1 рубль товарной продукции.

Определить прибыль от реализации продукции.

**Решение.**

**1.** Составим математическую модель оптимизации производственной программы предприятия.

**1.1** Ограничения по заданию:

$$X_1 \geq 9600$$

$$X_2 \geq 2400$$

$$X_3 \geq 13800$$

$$X_4 \geq 5900$$

$$X_5 \geq 8100$$

$$X_6 \geq 14200$$

$$X_7 \geq 8500$$

$$X_8 \geq 4300$$

$$X_9 \geq 12200$$

$$X_{10} \geq 14700$$

**1.2** Ограничения по заявкам:

$$X_1 \leq 14100$$

$$X_2 \leq 4300$$

$$X_3 \leq 16900$$

$$X_4 \leq 8500$$

$$X_5 \leq 11400$$

$$X_6 \leq 14800$$

$$X_7 \leq 12300$$

$$X_8 \leq 6500$$

$$X_9 \leq 14800$$

$$X_{10} \leq 18200$$

$$X_{11} \leq 6200$$

$$X_{12} \leq 13600$$

**1.3** Ограничения по объему реализации:

$$285x_1 + 240x_2 + 163x_3 + 222x_4 + 240x_5 + 182x_6 + 244x_7 + 195x_8 + 295x_9 + 245x_{10} + 208x_{11} + 205x_{12} \geq 22500$$

**1.4 Ограничения по удельному весу продукции высшей категории качества:**  
 $285x_1+240x_2+163x_3-0.26x \times (285x_1+240x_2+163x_3+222x_4+240x_5+182x_6+244x_7+195x_8+295x_9+245x_{10}+208x_{11}+205x_{12}) \geq 0$

**1.5 Ограничения по затратам на 1 рубль товарной продукции:**  
 $0,815 \times (285x_1+240x_2+163x_3+222x_4+240x_5+182x_6+244x_7+195x_8+295x_9+245x_{10}+208x_{11}+205x_{12}) - (230x_1+183x_2+136x_3+185x_4+183x_5+150x_6+194x_7+158x_8+240x_9+196x_{10}+175x_{11}+168x_{12}) \geq 0$

**1.6 Ограничения по оборудованию:**  
 $3x_1+7x_2+6x_3+13x_4+2x_5+10x_6+4x_7+5x_8+8x_9+3x_{10}+4x_{11}+5x_{12} \leq 770000$   
 $8x_1+6x_2+12x_3+15x_4+11x_5+8x_6+4x_7+7x_8+9x_9+12x_{10}+3x_{11}+4x_{12} \leq 1100000$   
 $9x_1+4x_2+5x_3+8x_4+6x_5+10x_6+18x_7+14x_8+11x_9+15x_{10}+8x_{11}+12x_{12} \leq 1360000$   
 $4x_1+3x_2+7x_3+9x_4+5x_5+12x_6+3x_7+4x_8+7x_9+9x_{10}+3x_{11}+11x_{12} \leq 885000$   
 $13x_1+11x_2+4x_3+6x_4+9x_5+7x_6+15x_7+5x_8+6x_9+4x_{10}+9x_{11}+6x_{12} \leq 870000$   
 $7x_1+9x_2+8x_3+5x_4+8x_5+7x_6+4x_7+12x_8+7x_9+8x_{10}+4x_{11}+11x_{12} \leq 920000$   
 $4x_1+5x_2+9x_3+7x_4+13x_5+8x_6+5x_7+6x_8+9x_9+13x_{10}+5x_{11}+8x_{12} \leq 970000$

**1.7 Ограничения по рабочей силе по категории работающих:**  
 $6,4x_1+10x_2+8,7x_3+3,4x_4+5,6x_5+9x_6+8,3x_7+6,1x_8+4,8x_9+2,5x_{10}+5,8x_{11}+3,3x_{12} \leq 725000$   
 $5,1x_1+4x_2+3,4x_3+2,8x_4+7,3x_5+5,6x_6+11x_7+14x_8+6,5x_9+9,3x_{10}+8,2x_{11}+1,4x_{12} \leq 780000$   
 $6x_1+10x_2+11x_3+8x_4+3x_5+4x_6+6x_7+9x_8+7x_9+5x_{10}+3x_{11}+5x_{12} \leq 735000$   
 $6,1x_1+8x_2+9x_3+5,6x_4+3,4x_5+8,7x_6+9,5x_7+6,4x_8+3,3x_9+5,8x_{10}+2,5x_{11}+4,8x_{12} \leq 755000$   
 $6,5x_1+6x_2+4,7x_3+7,4x_4+9,6x_5+6,9x_6+12x_7+5,3x_8+7,4x_9+4,7x_{10}+7,3x_{11}+3,7x_{12} \leq 770000$   
 $4,8x_1+8x_2+9,7x_3+4,1x_4+11x_5+6,3x_6+7,4x_7+4,7x_8+8,2x_9+2,8x_{10}+3,6x_{11}+8,4x_{12} \leq 760000$   
 $9,6x_1+12x_2+7,5x_3+5,7x_4+4,9x_5+4,7x_6+2,6x_7+6,2x_8+4,8x_9+8,4x_{10}+2,4x_{11}+4,2x_{12} \leq 730000$   
 $12x_1+4x_2+6,3x_3+4,7x_4+7,4x_5+5,9x_6+9,5x_7+3,7x_8+6,1x_9+7,3x_{10}+5,1x_{11}+11,5x_{12} \leq 820000$   
 $3,5x_1+14x_2+2,7x_3+7,2x_4+9,3x_5+3,9x_6+4,6x_7+6,4x_8+7,5x_9+5,7x_{10}+8,6x_{11}+6,8x_{12} \leq 600000$   
 $2,8x_1+8x_2+7,3x_3+3,7x_4+4,5x_5+5,4x_6+7,8x_7+8,7x_8+6,9x_9+9,6x_{10}+5,6x_{11}+6,5x_{12} \leq 758000$   
 $3,6x_1+6x_2+4,9x_3+9,1x_4+8,3x_5+3,8x_6+2,4x_7+4,2x_8+7,3x_9+3,7x_{10}+2,4x_{11}+2,8x_{12} \leq 585000$   
 $6x_1+7x_2+3x_3+7x_4+5x_5+4x_6+8x_7+6x_8+2x_9+3x_{10}+4x_{11}+5x_{12} \leq 500000$   
 $3,8x_1+5x_2+6,4x_3+5,7x_4+7,5x_5+4,9x_6+9,3x_7+7,6x_8+3,8x_9+12x_{10}+2,5x_{11}+8,3x_{12} \leq 785000$   
 $2,5x_1+5x_2+6,7x_3+7,6x_4+3,9x_5+9,3x_6+4,8x_7+8,4x_8+3,5x_9+5,3x_{10}+4,7x_{11}+7,4x_{12} \leq 660000$   
 $3,8x_1+8x_2+9,1x_3+4,9x_4+6,9x_5+3,6x_6+4,2x_7+2,4x_8+7,3x_9+3,7x_{10}+3,7x_{11}+7,3x_{12} \leq 835000$

**1.8 Ограничения по сырью:**  
 $4,6x_1+11x_2+8,6x_3+6,8x_4+24x_5+15x_6+4,8x_7+6,1x_8+13x_9+8,5x_{10}+8,6x_{11}+3,2x_{12} \leq 1235000$   
 $4,3x_1+3x_2+5,2x_3+3,7x_4+7,3x_5+2,9x_6+9,2x_7+3,8x_8+6,4x_9+3,5x_{10}+6,2x_{11}+3,4x_{12} \leq 555000$   
 $7,8x_1+9x_2+2,9x_3+9,2x_4+8,4x_5+15x_6+3,2x_7+12x_8+7,9x_9+9,7x_{10}+4,5x_{11}+5,4x_{12} \leq 975000$   
 $9,7x_1+8x_2+6,8x_3+8,6x_4+3,5x_5+5,3x_6+7,6x_7+6,7x_8+9,3x_9+3,9x_{10}+8,2x_{11}+4,6x_{12} \leq 750000$   
 $4,9x_1+6x_2+2,8x_3+8,2x_4+3,7x_5+7,3x_6+4,5x_7+5,4x_8+2,9x_9+9,2x_{10}+7,3x_{11}+3,7x_{12} \leq 635000$   
 $9,3x_1+9x_2+7,3x_3+3,7x_4+2,5x_5+5,2x_6+6,9x_7+9,6x_8+8,5x_9+5,8x_{10}+8,4x_{11}+4,8x_{12} \leq 700000$

**1.9 Целевая функция:**  
 $Z = 55x_1+57x_2+27x_3+37x_4+57x_5+32x_6+50x_7+37x_8+55x_9+49x_{10}+33x_{11}+37x_{12} \rightarrow \max$

**2. В ходе реализации программы на ЭВМ получим следующие данные, представленные в сводных таблицах:**

Таблица 1 - Итоговые результаты расчета

| Показатели                                 | Значение |
|--------------------------------------------|----------|
| <b>1. Программа производства (т в год)</b> |          |
| 1 вида продукции                           | 12893,0  |
| 2 вида продукции                           | 2400     |
| 3 вида продукции                           | 13800    |
| 4 вида продукции                           | 6324,9   |
| 5 вида продукции                           | 11400    |
| 6 вида продукции                           | 14200    |

|                                                     |            |
|-----------------------------------------------------|------------|
| 7 вида продукции                                    | 11807,6    |
| 8 вида продукции                                    | 4300       |
| 9 вида продукции                                    | 12200      |
| 10 вида продукции                                   | 18200      |
| 11 вида продукции                                   | 0          |
| 12 вида продукции                                   | 0          |
| 2. Объем производства (тыс. руб.)                   | 25002004,4 |
| 3. Затраты на рубль товарной продукции              | 0,86       |
| 4. Общая потребность рабочих                        | 4983       |
| 5. Выработка 1 рабочего                             | 5017,5     |
| 6. Прибыль предприятия                              | 4869019,7  |
| 7. Удельный вес продукции высшей категории качества | 0,26       |

Таблица 2 - Итоговые результаты расчета

| Производственные ресурсы   | Наличие | Потребность | Избыток  |
|----------------------------|---------|-------------|----------|
| <b>1. По рабочей силе:</b> |         |             |          |
| 1                          | 725000  | 668013,4    | 56986,6  |
| 2                          | 780000  | 741368,1    | 38631,9  |
| 3                          | 735000  | 680703,2    | 54296,8  |
| 4                          | 755000  | 705279,4    | 49720,6  |
| 5                          | 770000  | 757590,6    | 12409,4  |
| 6                          | 760000  | 714325,1    | 45674,9  |
| 7                          | 730000  | 683524,9    | 46475,1  |
| 8                          | 820000  | 784485,9    | 35514,1  |
| 9                          | 600000  | 600000      | 0        |
| 10                         | 758000  | 695832,4    | 62167,8  |
| 11                         | 585000  | 537369,8    | 47630,2  |
| 12                         | 500000  | 492893,6    | 7106,4   |
| 13                         | 785000  | 747696,4    | 37303,6  |
| 14                         | 660000  | 593238,5    | 66761,5  |
| 15                         | 835000  | 564017,6    | 270982,4 |
| <b>2. По оборудованию:</b> |         |             |          |
| 1                          | 770000  | 606233,3    | 163766,7 |
| 2                          | 1100000 | 1022548,3   | 77451,7  |
| 3                          | 1360000 | 1135573,9   | 224426,1 |
| 4                          | 885000  | 741519,1    | 143480,9 |
| 5                          | 870000  | 833773,3    | 36226,7  |
| 6                          | 920000  | 774306,3    | 145693,7 |
| 7                          | 970000  | 925084,6    | 44915,4  |
| <b>3. По сырью:</b>        |         |             |          |
| 1                          | 1235000 | 1130203,9   | 104796,1 |
| 2                          | 555000  | 548952,4    | 6047,6   |
| 3                          | 975000  | 891439,2    | 83560,8  |
| 4                          | 750000  | 710644,6    | 39355,4  |
| 5                          | 635000  | 593094,4    | 41905,6  |
| 6                          | 700000  | 700000      | 0        |

В таблице 1 представлена сводная таблица всей технико –экономической информации. Таблица содержит информацию о необходимом количестве производственных ресурсов для выполнения оптимальной производственной программы. В этой таблице указано наличие данного ресурса, необходимое количество ресурса и избыток ресурса. Полученные значения при написании вывода должны сравниваться с нормативными цифрами индивидуальных вариантов.

**Варианты индивидуальных заданий**

**ВАРИАНТ 1**

**Таблица - Ограничения по ресурсам и нормы затрат ресурсов**

| Наименование ре-<br>сурсов | Вид продукции |      |     |     |      |      |      |      |      |      |     |      | Величина<br>ресурса |
|----------------------------|---------------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|---------------------|
|                            | 1             | 2    | 3   | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11  | 12   |                     |
| По рабочей силе            |               |      |     |     |      |      |      |      |      |      |     |      |                     |
| 1 категория                | 6,4           | 9,5  | 8,7 | 3,4 | 5,6  | 9    | 8,3  | 6,1  | 4,8  | 2,5  | 5,8 | 3,3  | 725000              |
| 2 категория                | 5,1           | 3,5  | 3,4 | 2,8 | 7,3  | 5,6  | 11,4 | 13,5 | 6,5  | 9,3  | 8,2 | 1,4  | 780000              |
| 3 категория                | 6             | 10,3 | 11  | 8   | 3    | 4    | 6    | 9    | 7    | 5    | 3   | 5    | 735000              |
| 4 категория                | 6,1           | 8,3  | 9   | 5,6 | 3,4  | 8,7  | 9,5  | 6,4  | 3,3  | 5,8  | 2,5 | 4,8  | 755000              |
| 5 категория                | 6,5           | 5,6  | 4,7 | 7,4 | 9,6  | 6,9  | 11,6 | 5,3  | 7,4  | 4,7  | 7,3 | 3,7  | 770000              |
| 6 категория                | 4,8           | 7,9  | 9,7 | 4,1 | 11,4 | 6,3  | 7,4  | 4,7  | 8,2  | 2,8  | 3,6 | 8,4  | 760000              |
| 7 категория                | 9,6           | 12,3 | 7,5 | 5,7 | 4,9  | 4,7  | 2,6  | 6,2  | 4,8  | 8,4  | 2,4 | 4,2  | 730000              |
| 8 категория                | 12,2          | 3,6  | 6,3 | 4,7 | 7,4  | 5,9  | 9,5  | 3,7  | 6,1  | 7,3  | 5,1 | 11,5 | 820000              |
| 9 категория                | 3,5           | 14,3 | 2,7 | 7,2 | 9,3  | 3,9  | 4,6  | 6,4  | 7,5  | 5,7  | 8,6 | 6,8  | 600000              |
| 10 категория               | 2,8           | 8,2  | 7,3 | 3,7 | 4,5  | 5,4  | 7,8  | 8,7  | 6,9  | 9,6  | 5,6 | 6,5  | 758000              |
| 11 категория               | 3,6           | 6,3  | 4,9 | 9,1 | 8,3  | 3,8  | 2,4  | 4,2  | 7,3  | 3,7  | 2,4 | 2,8  | 585000              |
| 12 категория               | 6             | 7    | 3   | 7   | 5    | 4    | 8    | 6    | 2    | 3    | 4   | 5    | 500000              |
| 13 категория               | 3,8           | 4,6  | 6,4 | 5,7 | 7,5  | 4,9  | 9,3  | 7,6  | 3,8  | 11,5 | 2,5 | 8,3  | 785000              |
| 14 категория               | 2,5           | 5,2  | 6,7 | 7,6 | 3,9  | 9,3  | 4,8  | 8,4  | 3,5  | 5,3  | 4,7 | 7,4  | 660000              |
| 15 категория               | 3,8           | 8,3  | 9,1 | 4,9 | 6,3  | 3,6  | 4,2  | 2,4  | 7,3  | 3,7  | 3,7 | 7,3  | 835000              |
| по группам оборудования:   |               |      |     |     |      |      |      |      |      |      |     |      |                     |
| 1 группа                   | 3             | 7    | 6   | 13  | 2    | 10   | 4    | 5    | 8    | 3    | 4   | 5    | 770000              |
| 2 группа                   | 8             | 6    | 12  | 15  | 11   | 8    | 4    | 7    | 9    | 12   | 3   | 4    | 1100000             |
| 3 группа                   | 9             | 4    | 5   | 8   | 6    | 10   | 18   | 14   | 11   | 15   | 8   | 12   | 1360000             |
| 4 группа                   | 4             | 3    | 7   | 9   | 5    | 12   | 3    | 4    | 7    | 9    | 3   | 11   | 885000              |
| 5 группа                   | 13            | 11   | 4   | 6   | 9    | 7    | 15   | 5    | 6    | 4    | 9   | 6    | 870000              |
| 6 группа                   | 7             | 9    | 8   | 5   | 8    | 7    | 4    | 12   | 7    | 8    | 4   | 11   | 920000              |
| 7 группа                   | 4             | 5    | 9   | 7   | 13   | 8    | 5    | 6    | 9    | 13   | 5   | 8    | 970000              |
| по сырью:                  |               |      |     |     |      |      |      |      |      |      |     |      |                     |
| 1 вида                     | 4,6           | 11,4 | 8,6 | 6,8 | 24,2 | 15,2 | 4,8  | 6,1  | 13,2 | 8,5  | 8,6 | 3,2  | 1235000             |
| 2 вида                     | 4,3           | 2,5  | 5,2 | 3,7 | 7,3  | 2,9  | 9,2  | 3,8  | 6,4  | 3,5  | 6,2 | 3,4  | 555000              |
| 3 вида                     | 7,8           | 8,7  | 2,9 | 9,2 | 8,4  | 14,8 | 3,2  | 12,3 | 7,9  | 9,7  | 1,5 | 5,4  | 975000              |
| 4 вида                     | 9,7           | 7,9  | 6,8 | 8,6 | 3,5  | 5,3  | 7,6  | 6,7  | 9,3  | 3,9  | 8,2 | 4,6  | 750000              |
| 5 вида                     | 4,9           | 6,4  | 2,8 | 8,2 | 3,7  | 7,3  | 4,5  | 5,4  | 2,9  | 9,2  | 7,3 | 3,7  | 635000              |
| 6 вида                     | 9,3           | 8,5  | 7,3 | 3,7 | 2,5  | 5,2  | 6,9  | 9,6  | 8,5  | 5,8  | 8,4 | 4,8  | 700000              |

# ВАРИАНТ 2

Таблица - Ограничения по ресурсам и нормы затрат ресурсов

| Наименование ресурсов    | Вид продукции |     |     |      |      |      |      |      |      |     |      |      | Величина ресурса |
|--------------------------|---------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------------------|
|                          | 1             | 2   | 3   | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11   | 12   |                  |
| По рабочей силе          |               |     |     |      |      |      |      |      |      |     |      |      |                  |
| 1 категория              | 9,5           | 8,7 | 3,4 | 5,6  | 9    | 8,3  | 6,1  | 4,8  | 2,5  | 5,8 | 3,3  | 6,4  | 745000           |
| 2 категория              | 3,5           | 3,4 | 2,8 | 7,3  | 5,6  | 11,4 | 13,5 | 6,5  | 9,3  | 8,2 | 1,4  | 5,1  | 735000           |
| 3 категория              | 10,3          | 11  | 8   | 3    | 4    | 6    | 9    | 7    | 5    | 3   | 5    | 6    | 855000           |
| 4 категория              | 8,3           | 9   | 5,6 | 3,4  | 8,7  | 9,5  | 6,4  | 3,3  | 5,8  | 2,5 | 4,8  | 6,1  | 795000           |
| 5 категория              | 5,6           | 4,7 | 7,4 | 9,6  | 6,9  | 11,6 | 5,3  | 7,4  | 4,7  | 7,3 | 3,7  | 6,5  | 770000           |
| 6 категория              | 7,9           | 9,7 | 4,1 | 11,4 | 6,3  | 7,4  | 4,7  | 8,2  | 2,8  | 3,6 | 8,4  | 4,8  | 775000           |
| 7 категория              | 12,3          | 7,5 | 5,7 | 4,9  | 4,7  | 2,6  | 6,2  | 4,8  | 8,4  | 2,4 | 4,2  | 9,6  | 740000           |
| 8 категория              | 3,6           | 6,3 | 4,7 | 7,4  | 5,9  | 9,5  | 3,7  | 6,1  | 7,3  | 5,1 | 11,5 | 12,2 | 655000           |
| 9 категория              | 14,3          | 2,7 | 7,2 | 9,3  | 3,9  | 4,6  | 6,4  | 7,5  | 5,7  | 8,6 | 6,8  | 3,5  | 795000           |
| 10 категория             | 8,2           | 7,3 | 3,7 | 4,5  | 5,4  | 7,8  | 8,7  | 6,9  | 9,6  | 5,6 | 6,5  | 2,8  | 800000           |
| 11 категория             | 6,3           | 4,9 | 9,1 | 8,3  | 3,8  | 2,4  | 4,2  | 7,3  | 3,7  | 2,4 | 2,8  | 3,6  | 605000           |
| 12 категория             | 7             | 3   | 7   | 5    | 4    | 8    | 6    | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 530000           |
| 13 категория             | 4,6           | 6,4 | 5,7 | 7,5  | 4,9  | 9,3  | 7,6  | 3,8  | 11,5 | 2,5 | 8,3  | 3,8  | 700000           |
| 14 категория             | 5,2           | 6,7 | 7,6 | 3,9  | 9,3  | 4,8  | 8,4  | 3,5  | 5,3  | 4,7 | 7,4  | 2,5  | 725000           |
| 15 категория             | 8,3           | 9,1 | 4,9 | 6,3  | 3,6  | 4,2  | 2,4  | 7,3  | 3,7  | 3,7 | 7,3  | 3,8  | 710000           |
| по группам оборудования: |               |     |     |      |      |      |      |      |      |     |      |      |                  |
| 1 группа                 | 7             | 6   | 13  | 2    | 10   | 4    | 5    | 8    | 3    | 4   | 5    | 3    | 910000           |
| 2 группа                 | 6             | 12  | 15  | 11   | 8    | 4    | 7    | 9    | 12   | 3   | 4    | 8    | 1050000          |
| 3 группа                 | 4             | 5   | 8   | 6    | 10   | 18   | 14   | 11   | 15   | 8   | 12   | 9    | 1200000          |
| 4 группа                 | 3             | 7   | 9   | 5    | 12   | 3    | 4    | 7    | 9    | 3   | 11   | 4    | 710000           |
| 5 группа                 | 11            | 4   | 6   | 9    | 7    | 15   | 5    | 6    | 4    | 9   | 6    | 13   | 950000           |
| 6 группа                 | 9             | 8   | 5   | 8    | 7    | 4    | 12   | 7    | 8    | 4   | 11   | 7    | 955000           |
| 7 группа                 | 5             | 9   | 7   | 13   | 8    | 5    | 6    | 9    | 13   | 5   | 6    | 4    | 925000           |
| по сырью:                |               |     |     |      |      |      |      |      |      |     |      |      |                  |
| 1 вида                   | 11,4          | 8,6 | 6,8 | 24,2 | 15,2 | 4,8  | 6,1  | 13,2 | 8,5  | 8,6 | 3,2  | 4,6  | 1190000          |
| 2 вида                   | 2,5           | 5,2 | 3,7 | 7,3  | 2,9  | 9,2  | 3,8  | 6,4  | 3,5  | 6,2 | 3,4  | 4,3  | 555000           |
| 3 вида                   | 8,7           | 2,9 | 9,2 | 8,4  | 14,8 | 3,2  | 12,3 | 7,9  | 9,7  | 4,5 | 5,4  | 7,8  | 900000           |
| 4 вида                   | 7,9           | 6,8 | 8,6 | 3,5  | 5,3  | 7,6  | 6,7  | 9,3  | 3,9  | 8,2 | 4,6  | 9,7  | 832000           |
| 5 вида                   | 6,4           | 2,8 | 8,2 | 3,7  | 7,3  | 4,5  | 5,4  | 2,9  | 9,2  | 7,3 | 3,7  | 4,9  | 670000           |
| 6 вида                   | 8,5           | 7,3 | 3,7 | 2,5  | 5,2  | 6,9  | 9,6  | 8,5  | 5,8  | 8,4 | 4,8  | 9,3  | 805000           |

### ВАРИАНТ 3

Таблица - Ограничения по ресурсам и нормы затрат ресурсов

| Наименование<br>ресурсов | Вид продукции |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |     | Величина<br>ресурса |
|--------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|---------------------|
|                          | 1             | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9    | 10   | 11   | 12  |                     |
| По рабочей силе          |               |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |     |                     |
| 1 категория              | 3,4           | 5,6  | 9    | 8,3  | 6,1  | 4,8  | 2,5  | 5,8 | 3,3  | 6,4  | 9,5  | 8,7 | 620000              |
| 2 категория              | 2,8           | 7,3  | 5,6  | 11,4 | 13,5 | 6,5  | 9,3  | 8,2 | 1,4  | 5,1  | 3,5  | 3,4 | 820000              |
| 3 категория              | 8             | 3    | 4    | 6    | 9    | 7    | 5    | 3   | 5    | 6    | 10,3 | 11  | 650000              |
| 4 категория              | 5,6           | 3,4  | 8,7  | 9,5  | 6,4  | 3,3  | 5,8  | 2,5 | 4,8  | 6,1  | 8,3  | 9   | 590000              |
| 5 категория              | 7,4           | 9,6  | 6,9  | 11,6 | 5,3  | 7,4  | 4,7  | 7,3 | 3,7  | 6,5  | 5,6  | 4,7 | 790000              |
| 6 категория              | 4,1           | 11,4 | 6,3  | 7,4  | 4,7  | 8,2  | 2,8  | 3,6 | 8,4  | 4,8  | 7,9  | 9,7 | 765000              |
| 7 категория              | 5,7           | 4,9  | 4,7  | 2,6  | 6,2  | 4,8  | 8,4  | 2,4 | 4,2  | 9,6  | 12,3 | 7,5 | 580000              |
| 8 категория              | 4,7           | 7,4  | 5,9  | 9,5  | 3,7  | 6,1  | 7,3  | 5,1 | 11,5 | 12,2 | 3,6  | 6,3 | 840000              |
| 9 категория              | 7,2           | 9,3  | 3,9  | 4,6  | 6,4  | 7,5  | 5,7  | 8,6 | 6,8  | 3,5  | 4,3  | 2,7 | 760000              |
| 10 категория             | 3,7           | 4,5  | 5,4  | 7,8  | 8,7  | 6,9  | 9,6  | 5,6 | 6,5  | 2,8  | 8,2  | 7,3 | 705000              |
| 11 категория             | 9,1           | 8,3  | 3,8  | 2,4  | 4,2  | 7,3  | 3,7  | 2,4 | 2,8  | 3,6  | 6,3  | 4,9 | 550000              |
| 12 категория             | 7             | 5    | 4    | 8    | 6    | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 3   | 570000              |
| 13 категория             | 5,7           | 7,5  | 4,9  | 9,3  | 7,6  | 3,8  | 11,5 | 2,5 | 8,3  | 3,8  | 4,6  | 6,4 | 740000              |
| 14 категория             | 7,6           | 3,9  | 9,3  | 47,8 | 8,4  | 3,5  | 5,3  | 4,7 | 7,4  | 2,5  | 5,2  | 6,7 | 625000              |
| 15 категория             | 4,9           | 6,3  | 3,6  | 4,2  | 2,4  | 7,3  | 3,7  | 3,7 | 7,3  | 3,8  | 8,3  | 9,1 | 565000              |
| по группам оборудования: |               |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |     |                     |
| 1 группа                 | 13            | 2    | 10   | 4    | 5    | 8    | 3    | 4   | 5    | 3    | 7    | 6   | 660000              |
| 2 группа                 | 15            | 11   | 8    | 4    | 7    | 9    | 12   | 3   | 4    | 8    | 6    | 12  | 865000              |
| 3 группа                 | 8             | 6    | 10   | 18   | 14   | 11   | 15   | 8   | 12   | 9    | 4    | 5   | 1430000             |
| 4 группа                 | 9             | 5    | 12   | 3    | 4    | 7    | 9    | 3   | 11   | 4    | 3    | 7   | 710000              |
| 5 группа                 | 6             | 9    | 7    | 15   | 5    | 6    | 4    | 9   | 6    | 13   | 11   | 4   | 1015000             |
| 6 группа                 | 5             | 8    | 7    | 4    | 12   | 7    | 8    | 4   | 11   | 7    | 9    | 8   | 1005000             |
| 7 группа                 | 7             | 13   | 8    | 5    | 6    | 9    | 13   | 5   | 8    | 4    | 5    | 9   | 980000              |
| по сырью:                |               |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |     |                     |
| 1 вида                   | 6,8           | 24,2 | 15,2 | 4,8  | 6,1  | 13,2 | 8,5  | 8,6 | 3,2  | 4,6  | 11,4 | 8,6 | 1100000             |
| 2 вида                   | 3,7           | 7,3  | 2,9  | 9,2  | 3,8  | 6,4  | 3,5  | 6,2 | 3,4  | 4,3  | 2,5  | 5,2 | 625000              |
| 3 вида                   | 9,2           | 8,4  | 4,8  | 3,2  | 12,3 | 7,9  | 9,7  | 4,5 | 5,4  | 7,8  | 8,7  | 2,9 | 905000              |
| 4 вида                   | 8,6           | 3,5  | 5,3  | 7,6  | 6,7  | 9,3  | 3,9  | 8,2 | 4,6  | 9,7  | 7,9  | 6,8 | 775000              |
| 5 вида                   | 8,2           | 3,7  | 7,3  | 4,5  | 5,4  | 2,9  | 9,2  | 7,3 | 3,7  | 4,9  | 6,4  | 2,8 | 570000              |
| 6 вида                   | 3,7           | 2,5  | 5,2  | 6,9  | 9,6  | 8,5  | 5,8  | 8,4 | 4,8  | 9,3  | 8,5  | 7,3 | 755000              |

Таблица – Исходные данные к варианту 1

| Наименование показателя                               | Вид продукции |      |       |      |       |       |       |      |       |       |      |       |
|-------------------------------------------------------|---------------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
|                                                       | 1             | 2    | 3     | 4    | 5     | 6     | 7     | 8    | 9     | 10    | 11   | 12    |
| Объем продукции по заключенным договорам, шт.         | 9600          | 2400 | 13800 | 5900 | 8100  | 14200 | 8500  | 4300 | 12200 | 14700 | -    | -     |
| Объем продукции по заявкам торгующих организаций, шт. | 14100         | 4300 | 16900 | 8500 | 11400 | 14800 | 12300 | 6500 | 14800 | 18200 | 6200 | 13600 |
| Оптовая цена единицы продукции, руб.                  | 285           | 240  | 163   | 222  | 240   | 182   | 244   | 195  | 295   | 245   | 208  | 205   |
| Себестоимость единицы продукции, руб.                 | 230           | 183  | 136   | 185  | 183   | 150   | 194   | 158  | 240   | 196   | 175  | 168   |

Максимальный объем реализации (спрос) – 22500 тыс. руб. , Удельный вес продукции высшей категории качества – 26%

Затраты на рубль товарной продукции – 0,815 руб.

Таблица – Исходные данные к варианту 2

| Наименование показателя                               | Вид продукции |       |       |      |       |      |       |       |       |      |       |      |
|-------------------------------------------------------|---------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|
|                                                       | 1             | 2     | 3     | 4    | 5     | 6    | 7     | 8     | 9     | 10   | 11    | 12   |
| Объем продукции по заключенным договорам, шт.         | 12200         | 14700 | 9600  | 2400 | 13800 | 5900 | 8100  | 14200 | 8500  | 4300 | -     | -    |
| Объем продукции по заявкам торгующих организаций, шт. | 14800         | 18200 | 14100 | 4300 | 16900 | 8500 | 11400 | 14800 | 12300 | 6500 | 13600 | 9800 |
| Оптовая цена единицы продукции, руб.                  | 240           | 182   | 244   | 195  | 285   | 240  | 163   | 222   | 180   | 200  | 274   | 198  |
| Себестоимость единицы продукции, руб.                 | 183           | 150   | 194   | 158  | 230   | 183  | 136   | 185   | 150   | 165  | 224   | 162  |

Максимальный объем реализации (спрос) – 23550 тыс. руб., Удельный вес продукции высшей категории качества – 35%

Затраты на рубль товарной продукции – 0,815 руб.

Таблица – Исходные данные к варианту 3

| Наименование показателя                               | Вид продукции |       |      |       |       |       |      |       |       |       |       |      |
|-------------------------------------------------------|---------------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|
|                                                       | 1             | 2     | 3    | 4     | 5     | 6     | 7    | 8     | 9     | 10    | 11    | 12   |
| Объем продукции по заключенным договорам, шт.         | 5900          | 13800 | 2400 | 9600  | 14700 | 12200 | 4300 | 8500  | 14200 | 8100  | -     | -    |
| Объем продукции по заявкам торгующих организаций, шт. | 8500          | 16900 | 4300 | 14100 | 18200 | 14800 | 6500 | 12300 | 14800 | 11400 | 11500 | 7300 |
| Оптовая цена единицы продукции, руб.                  | 182           | 200   | 209  | 255   | 180   | 175   | 230  | 205   | 260   | 182   | 219   | 236  |
| Себестоимость единицы продукции, руб.                 | 143           | 165   | 173  | 215   | 150   | 143   | 185  | 168   | 196   | 150   | 183   | 193  |

Максимальный объем реализации (спрос) – 20400 тыс. руб., Удельный вес продукции высшей категории качества – 22%

Затраты на рубль товарной продукции – 0,82 руб.

### **Практическое занятие №8-9. Определение значений технико-экономических показателей на основе производственной функции Кобба-Дугласа**

**Цель:** получить навыки построения модели производственной функции и интерпретации ее результатов

**Организационная форма:** решение типовых задач

**Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:**

Студент будет знать:

- понятие производственной функции;
- особенности применения производственной функции для целей экономического анализа.

Студент будет уметь:

- построить модель производственной функции;
- находить основные параметры производственной функции;
- интерпретировать полученные результаты.

**Формируемые компетенции:** УК-1, ПК-1, ПК-2

**Актуальность темы:** Производственная функция является одним из способов прогнозирования развития экономики. С помощью производственной функции возможно не только выявление резервов экономического роста, но и более глубокое изучение предприятия, отрасли, экономики страны с точки зрения влияния отдельных факторов, как на темпы роста, так и на цепочку внутренних факторов, возможности взаимозаменяемости факторов.

#### ***Теоретическая часть***

В общем случае *производственными функциями* называют математические зависимости между используемыми в производстве материальными, трудовыми, финансовыми ресурсами и конечными продуктами. Очевидно, что первые два вида ресурсов могут выражаться через последние. Среди материальных ресурсов выделяют два типа: предметы труда (сырьё) и основные фонды (здания, оборудование). Ресурсы первого типа в течение определённого периода времени расходуются полностью, ресурсы второго типа - частично.

В общем виде производственная функция описывается уравнением

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где  $y$  – результативный показатель;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  - показательные факторы.

Отражая в сжатой форме один из главных экономических процессов — процесс производства продукции, производственные функции служат инструментом, позволяющим проводить разнообразные аналитические расчеты, определять эффективность использования ресурсов и целесообразность их дополнительного вовлечения в производство, планировать выпуск продукции и контролировать реальность планов. Важную роль играют производственные функции и в качественном исследовании экономических систем, являясь неотъемлемой частью большинства комплексных моделей экономической динамики.

Частный случай связи продукции и факторов был впервые эмпирически выведен Чарльзом Коббом и Полем Дугласом в 1927г.:

$$P = aK^b L^{(b-1)} \quad (2)$$

Динамика индексных показателей роста промышленности США определялись в зависимости:  $P = 1.01K^{0.25}L^{0.75}$ , где  $P$  - выпуск производственной продукции,  $K, L$  - объёмы приложенного труда и капитала,  $a$  - размерность, зависящая от выбранной единицы затрат и выпуска.

В общем виде производственную функцию Кобба-Дугласа представляют в виде:

$$Y = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} \quad (3)$$

где  $a_0, a_1, a_2$  - параметры (константы) производственной функции - их конкретные значения определяются на основе статистических данных с помощью корреляционных методов;

$x_1$  - затраты труда в человеко-часах или количестве среднегодовых работников;  
 $x_2$  - объём производственных фондов в стоимостных единицах (рублях, тыс. руб. и т.д.);  
 $y$  - величина общественного продукта в стоимостных единицах.

В соответствии со своим экономическим содержанием коэффициенты  $a_1$  и  $a_2$  по величине заключены внутри интервала от нуля до единицы, т.е. для формулы (3) соблюдается условие  $0 < a_i < 1$ , где  $i = 1, 2$ .

По своей математической форме уравнение (3) является степенной функцией. Если вместо самих переменных величин использовать их логарифмы, то функция становится линейной. Т.е. параметры  $a_0, a_1, a_2$  оцениваются после логарифмирования исходной зависимости:

$$\ln y = \ln a_0 + a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 \quad (4)$$

Полученная модель является линейной, относительно неизвестных параметров и свойства оценок данной линеаризованной модели приближённо соответствуют свойствам оценок линейной регрессии (по методу наименьших квадратов). Обычно для определения параметров производственной функции Кобба-Дугласа используют итерационные методы поиска экстремума функции многих переменных: наискорейшего спуска, Гаусса-Зейделя, Марквардта, Брандона и т.д.

Оценку полученных таким образом параметров производят разными методами, например, Бокса-Кокса или с помощью корреляционно-регрессионного анализа.

На основании вышеизложенного определим для производственной функции Кобба-Дугласа *среднюю производительность* труда:

$$y/x_1 = a_0 x_1^{a_1-1} x_2^{a_2} \quad (5)$$

Это выражение характеризует среднее количество продукции, приходящееся на единицу отработанного времени. Поскольку коэффициент  $a_1$  больше нуля и меньше единицы, то показатель степени при  $x_1$  будет отрицательным, следовательно с увеличением затрат труда (величины  $x_1$ ) средняя производительность труда снижается.

*Предельная производительность труда* показывает, сколько дополнительных единиц продукции приносит дополнительная единица затраченного труда. Уравнение предельной производительности труда - это частная производная выпуска продукции по затратам труда:

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = a_0 a_1 x_1^{a_1-1} x_2^{a_2} \quad (6)$$

Отсюда следует, что предельная производительность труда, так же как и средняя, зависит от общей величины трудовых затрат  $x_1$  и объёма используемых производственных фондов  $x_2$ . С увеличением затрат труда при неизменных фондах предельная производительность труда снижается. С увеличением фондов предельная производительность труда возрастает.

Сопоставляя уравнения (5) и (6) получаем:

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = a_1 \frac{y}{x_1} \quad (7)$$

Поскольку  $0 < a_1 < 1$ , можно сделать вывод, что в производственной функции Кобба-Дугласа предельная производительность труда всегда ниже средней выработки.

Показатель *эластичности выпуска продукции по затратам труда* показывает, на сколько процентов увеличится выпуск при увеличении затрат труда на 1% (т.е. характеризует относительный прирост объёма производства на единицу относительного увеличения ресурсов труда). Он вычисляется делением предельной производительности труда на объём продукции  $y$  и умножением, затем, на величину трудовых затрат  $x$ , т.е.:

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} * \frac{x_1}{y} = a_1 \quad (8)$$

То есть увеличение трудовых затрат на 1% приводит к росту объёма производства на  $a_1\%$ .

*Средняя фондоотдача* вычисляется из формулы (3):

$$y/x_2 = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2-1} \quad (9)$$

Это уравнение показывает, что средняя фондоотдача всегда увеличивается с увеличением ресурсов труда (при неизменных фондах) и уменьшается с увеличением самих фондов (при неизменных трудовых ресурсах).

Показатель *предельной фондоотдачи* определяется как частная производная выпуска продукции по объёму фондов:

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = a_0 a_2 x_1^{a_1} x_2^{a_2-1} \quad (10)$$

Предельная фондоотдача отличается от средней лишь множителем  $a_2$ . Поскольку этот коэффициент  $0 < a_2 < 1$ , то предельная фондоотдача в производственной функции Кобба-Дугласа всегда ниже средней фондоотдачи.

*Эластичность выпуска продукции по объёму производственных фондов* или *относительная предельная фондоотдача* определяется аналогично (7), т.е.:

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} * \frac{x_2}{y} = a_2 \quad (4.11)$$

Как и по отношению к затратам труда, эластичность выпуска по фондам есть величина постоянная, равная коэффициенту  $a_2$ .

Производственная функция позволяет рассчитать (как прогноз) потребность в одном из ресурсов при заданных объёме производства и величине другого ресурса. Из уравнения (3) следует, что *потребность в ресурсах труда* равна:

$$x_1 = \left( \frac{y}{a_0 x_2^{a_2}} \right)^{\frac{1}{a_1}} \quad (12)$$

Аналогично определяется *потребность в фондах* при заданных объёме продукции и ресурсах труда:

$$x_2 = \left( \frac{y}{a_0 x_1^{a_1}} \right)^{\frac{1}{a_2}} \quad (13)$$

Производственная функция позволяет исследовать и вопросы соотношения, замещения и взаимодействия ресурсов. Фондовооружённость труда, например, рассчитывается как отношение  $x_2$  к  $x_1$ .

В известном смысле взаимодействующие ресурсы могут замещать друг друга. Это означает, что единицу одного ресурса можно было бы заменить некоторым количеством другого ресурса так, что объём производства при этом не изменится. На основе производственной функции можно рассчитать предельную норму замещения ресурсов.

Так, *предельная норма замещения затрат труда производственными фондами* для производственной функции Кобба-Дугласа равна:

$$\frac{\partial x_2}{\partial x_1} = - \frac{a_1 x_2}{a_2 x_1} \quad (14)$$

Правая часть уравнения по абсолютной величине равна частному от деления предельной производительности труда (5) на предельную фондоотдачу (9). Знак «минус» в выражении (14) означает, что при фиксированном объёме производства увеличению одного ресурса соответствует уменьшение другого.

Как видно, предельная норма замещения ресурсов для функции Кобба-Дугласа зависит не только от параметров  $a_1$  и  $a_2$ , но и от соотношения объемов ресурсов. Чем выше фондовооружённость труда, тем выше и норма замещения затрат живого труда производственными фондами.

Кроме вышеперечисленного, важной характеристикой является сумма коэффициентов:

$$A = a_1 + a_2 \quad (15)$$

Эта сумма показывает эффект одновременного пропорционального увеличения объёма как ресурсов труда, так и производственных фондов.

Если  $A = 1$ , то увеличение ресурсов в  $t$  раз приводит к увеличению объёма производства также в  $t$  раз. (Пропорционально возрастающая производственная функция).

Если  $A > 1$ , то увеличение ресурсов в  $t$  раз приводит к увеличению объёма производства более чем в  $t$  раз. Экономически в этом случае говорят о положительном эффекте расширения масштабов производства (что характерно для металлургии и машиностроения). (Непропорционально возрастающая производственная функция).

Если  $A < 1$ , то увеличение ресурсов в  $t$  раз приводит к увеличению объёма производства менее чем в  $t$  раз. Экономически в этом случае говорят об отрицательном эффекте расширения масштабов и укрупнения производства (что характерно для сельского хозяйства и торговли). (Убывающая производственная функция).

#### **Варианты индивидуальных заданий**

##### **Повышенный уровень**

1. По исходным данным варианта произвести расчеты с помощью средств программы Excel.

##### **Базовый уровень**

2. По результатам работы сделать выводы.

Пример полученных результатов работы программы представлен ниже.

| <b>ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ</b>                                                                                    |                                        |                                        |                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| <i>Таблица 1. - Исходные данные</i>                                                                                                      |                                        |                                        |                                      |
| <i>№ наблюдения</i>                                                                                                                      | <i>Трудовые ресурсы (ТР)</i>           | <i>Производственные фонды (ПФ)</i>     | <i>Валовый продукт (ВП)</i>          |
| 1                                                                                                                                        | 1493                                   | 2070                                   | 4759                                 |
| 2                                                                                                                                        | 1589                                   | 2279                                   | 5325                                 |
| 3                                                                                                                                        | 1785                                   | 2332                                   | 5887                                 |
| 4                                                                                                                                        | 1720                                   | 2554                                   | 5907                                 |
| 5                                                                                                                                        | 1920                                   | 2703                                   | 6432                                 |
| 6                                                                                                                                        | 1937                                   | 2959                                   | 7157                                 |
| 7                                                                                                                                        | 2190                                   | 3172                                   | 7756                                 |
| 8                                                                                                                                        | 2113                                   | 3375                                   | 8019                                 |
| 9                                                                                                                                        | 2217                                   | 3546                                   | 8518                                 |
| 10                                                                                                                                       | 2405                                   | 3894                                   | 9205                                 |
| <i>Средние значения:</i>                                                                                                                 | 1937                                   | 2888                                   | 6897                                 |
| <i>Таблица 2 - Данные для построения логарифмической модели <math>\ln \text{ВП} = a_0 + a_1 \ln \text{ТР} + a_2 \ln \text{ПФ}</math></i> |                                        |                                        |                                      |
| <i>№ наблюдения</i>                                                                                                                      | <i><math>X_1(\ln \text{ТР})</math></i> | <i><math>X_2(\ln \text{ПФ})</math></i> | <i><math>Y(\ln \text{ВП})</math></i> |
| 1                                                                                                                                        | 7,3085                                 | 7,6353                                 | 8,4678                               |
| 2                                                                                                                                        | 7,3709                                 | 7,7315                                 | 8,5802                               |
| 3                                                                                                                                        | 7,4872                                 | 7,7545                                 | 8,6805                               |
| 4                                                                                                                                        | 7,4501                                 | 7,8454                                 | 8,6839                               |
| 5                                                                                                                                        | 7,5601                                 | 7,9021                                 | 8,7690                               |
| 6                                                                                                                                        | 7,5689                                 | 7,9926                                 | 8,8758                               |

|                                                                                                      |                                                       |                                                      |                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 7                                                                                                    | 7,6917                                                | 8,0621                                               | 8,9562                               |
| 8                                                                                                    | 7,6559                                                | 8,1242                                               | 8,9896                               |
| 9                                                                                                    | 7,7039                                                | 8,1736                                               | 9,0499                               |
| 10                                                                                                   | 7,7853                                                | 8,2672                                               | 9,1275                               |
| Средние значения:                                                                                    | 7,5582                                                | 7,9488                                               | 8,8180                               |
| Таблица 3 - Данные для построения модели $(Y-Y_{cp})=a_1(X_1-X_{1cp})+a_2(X_2-X_{2cp})$ .            |                                                       |                                                      |                                      |
| № наблюдения                                                                                         | $X_1-X_{1cp}$                                         | $X_2-X_{2cp}$                                        | $Y-Y_{cp}$                           |
| 1                                                                                                    | -0,2497                                               | -0,3135                                              | -0,3503                              |
| 2                                                                                                    | -0,1874                                               | -0,2174                                              | -0,2379                              |
| 3                                                                                                    | -0,0711                                               | -0,1944                                              | -0,1375                              |
| 4                                                                                                    | -0,1082                                               | -0,1034                                              | -0,1342                              |
| 5                                                                                                    | 0,0018                                                | -0,0467                                              | -0,0490                              |
| 6                                                                                                    | 0,0107                                                | 0,0438                                               | 0,0578                               |
| 7                                                                                                    | 0,1334                                                | 0,1133                                               | 0,1382                               |
| 8                                                                                                    | 0,0976                                                | 0,1753                                               | 0,1715                               |
| 9                                                                                                    | 0,1457                                                | 0,2247                                               | 0,2319                               |
| 10                                                                                                   | 0,2271                                                | 0,3183                                               | 0,3095                               |
| Значения критерия Стьюдента при различных уровнях доверительной вероятности:                         |                                                       |                                                      |                                      |
|                                                                                                      |                                                       |                                                      |                                      |
| $\alpha, \%$                                                                                         | 1                                                     | 5                                                    | 10                                   |
| $t_{1-\alpha/2}$                                                                                     | 3,36                                                  | 2,31                                                 | 1,86                                 |
| Таблица 4 - Результаты оценивания по модели $(Y-Y_{cp})=a_1(X_1-X_{1cp})+a_2(X_2-X_{2cp})$ .         |                                                       |                                                      |                                      |
| Уровень значимости $\alpha$ (1, 5, 10%)                                                              | 5                                                     | Критическое значение критерия Стьюдента              | 2,31                                 |
| Оценки коэффициентов $a_0, a_1, a_2$                                                                 | Погрешность определения коэффициентов $S_0, S_1, S_2$ | Значения критерия Стьюдента $t_{a0}, t_{a1}, t_{a2}$ | Результат проверки гипотезы $a_i=0$  |
| 0,6528                                                                                               | 0,2064                                                | 7,3049                                               | Отрицательный                        |
| 0,5899                                                                                               | 0,1639                                                | 3,5984                                               | Отрицательный                        |
| 0,6020                                                                                               | 0,1211                                                | 4,9718                                               | Отрицательный                        |
| Исходные значения $Y-Y_{cp}$                                                                         | Расчётные значения $Y-Y_{cp}$                         | Абсолютная погрешность расчёта                       | Относительная погрешность расчёта, % |
| -0,3503                                                                                              | -0,3361                                               | 0,0142                                               | -4,05                                |
| -0,2379                                                                                              | -0,2414                                               | -0,0035                                              | 1,48                                 |
| -0,1375                                                                                              | -0,1589                                               | -0,0214                                              | 15,55                                |
| -0,1342                                                                                              | -0,1261                                               | 0,0081                                               | -6,02                                |
| -0,0490                                                                                              | -0,0270                                               | 0,0220                                               | -44,81                               |
| 0,0578                                                                                               | 0,0326                                                | -0,0252                                              | -43,54                               |
| 0,1382                                                                                               | 0,1469                                                | 0,0087                                               | 6,32                                 |
| 0,1715                                                                                               | 0,1631                                                | -0,0084                                              | -4,89                                |
| 0,2319                                                                                               | 0,2212                                                | -0,0107                                              | -4,59                                |
| 0,3095                                                                                               | 0,3256                                                | 0,0162                                               | 5,22                                 |
| Среднеквадратичная погрешность $S_{ВП}$ :                                                            |                                                       | 0,0184                                               |                                      |
| Таблица 5 - Результаты оценивания коэффициентов $a_0, a_1, a_2$ по модели $ВП=a_0TP^{a_1}ПФ^{a_2}$ . |                                                       |                                                      |                                      |
| $a_0$                                                                                                | $a_1$                                                 | $a_2$                                                |                                      |
| 0,6528                                                                                               | 0,5899                                                | 0,6020                                               |                                      |
| Исходные значения                                                                                    | Расчётные значения                                    | Абсолютная погрешность                               | Относительная по-                    |

| <i>ВП</i>                                                  | <i>ния ВП</i> | <i>ность расчёта</i> | <i>грешность расчёта,<br/>%</i> |
|------------------------------------------------------------|---------------|----------------------|---------------------------------|
| 4759                                                       | 4827          | 68                   | 1,43                            |
| 5325                                                       | 5306          | -19                  | -0,35                           |
| 5887                                                       | 5762          | -125                 | -2,12                           |
| 5907                                                       | 5955          | 48                   | 0,81                            |
| 6432                                                       | 6575          | 143                  | 2,22                            |
| 7157                                                       | 6979          | -178                 | -2,49                           |
| 7756                                                       | 7824          | 68                   | 0,88                            |
| 8019                                                       | 7952          | -67                  | -0,84                           |
| 8518                                                       | 8428          | -90                  | -1,06                           |
| 9205                                                       | 9355          | 150                  | 1,63                            |
| <i>Среднеквадратичная погрешность <math>S_{ВП}</math>:</i> |               | 127,9349             |                                 |

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ УРАВНЕНИЯ КОББА-ДУГЛАСА

| Значения коэффициентов |        |        | Средние значения                             |                                          |                                             |
|------------------------|--------|--------|----------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|
| $a_0$                  | $a_1$  | $a_2$  | <i>Трудо-<br/>вые ре-<br/>сурсы<br/>(ТР)</i> | <i>Производствен-<br/>ные фонды (ПФ)</i> | <i>Вало-<br/>вый про-<br/>дукт<br/>(ВП)</i> |
| 0,6528                 | 0,5899 | 0,6020 | 1937                                         | 2888                                     | 6897                                        |

### Значения экономических показателей

|                                                   |         |
|---------------------------------------------------|---------|
| Средняя производительность труда статистическая   | 3,5606  |
| Средняя производительность труда по Коббу-Дугласу | 3,5511  |
| Предельная производительность труда               | 2,0950  |
| Эластичность выпуска продукции по затратам труда  | 0,5899  |
| Средняя фондоотдача статистическая                | 2,3877  |
| Средняя фондоотдача по Коббу-Дугласу              | 2,3813  |
| Предельная фондоотдача по Коббу-Дугласу           | 1,4337  |
| Эластичность выпуска продукции по объёму ОПФ      | 0,6020  |
| Предельная норма замещения затрат труда ОПФ       | -1,4613 |

**ВАРИАНТ 1**

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 1473             | 1983                   | 4224            |
| 2            | 1568             | 2183                   | 4726            |
| 3            | 1761             | 2234                   | 5225            |
| 4            | 1697             | 2447                   | 5243            |
| 5            | 1895             | 2616                   | 5709            |
| 6            | 1911             | 2835                   | 6352            |
| 7            | 2161             | 3039                   | 6884            |
| 8            | 2085             | 3234                   | 7118            |
| 9            | 2188             | 3397                   | 7560            |
| 10           | 2373             | 3731                   | 8170            |

**ВАРИАНТ 2**

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 1493             | 2070                   | 4759            |
| 2            | 1589             | 2279                   | 5325            |
| 3            | 1785             | 2332                   | 5887            |
| 4            | 1720             | 2554                   | 5907            |
| 5            | 1920             | 2703                   | 6432            |
| 6            | 1937             | 2959                   | 7157            |
| 7            | 2190             | 3172                   | 7756            |
| 8            | 2113             | 3375                   | 8019            |
| 9            | 2217             | 3546                   | 8518            |
| 10           | 2405             | 3894                   | 9205            |

**ВАРИАНТ 3**

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 1165             | 8993                   | 5895            |
| 2            | 1240             | 9901                   | 6596            |
| 3            | 1393             | 10131                  | 7292            |
| 4            | 1343             | 11096                  | 7317            |
| 5            | 1499             | 11860                  | 7967            |
| 6            | 1512             | 12855                  | 8865            |
| 7            | 1709             | 13780                  | 9607            |
| 8            | 1649             | 14662                  | 9933            |
| 9            | 1730             | 15405                  | 10551           |
| 10           | 1877             | 16917                  | 11402           |

**ВАРИАНТ 4**

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|

|    |     |       |       |
|----|-----|-------|-------|
| 1  | 524 | 17948 | 34406 |
| 2  | 558 | 19761 | 38498 |
| 3  | 627 | 20220 | 42562 |
| 4  | 604 | 22145 | 42706 |
| 5  | 674 | 23671 | 46502 |
| 6  | 680 | 25657 | 51743 |
| 7  | 769 | 27504 | 56074 |
| 8  | 742 | 29264 | 57975 |
| 9  | 778 | 30746 | 61583 |
| 10 | 844 | 33764 | 66550 |

#### ВАРИАНТ 5

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 840              | 4199                   | 11289           |
| 2            | 894              | 4623                   | 12631           |
| 3            | 1005             | 4731                   | 13964           |
| 4            | 968              | 5181                   | 14012           |
| 5            | 1080             | 5538                   | 15257           |
| 6            | 1090             | 6003                   | 16977           |
| 7            | 1232             | 6435                   | 18398           |
| 8            | 1189             | 6847                   | 19022           |
| 9            | 1248             | 7194                   | 20205           |
| 10           | 1353             | 7900                   | 21835           |

#### ВАРИАНТ 6

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 1095             | 4217                   | 12794           |
| 2            | 1165             | 4643                   | 14315           |
| 3            | 1309             | 4751                   | 15826           |
| 4            | 1261             | 5203                   | 15880           |
| 5            | 1408             | 5562                   | 17291           |
| 6            | 1420             | 6028                   | 19240           |
| 7            | 1606             | 6462                   | 20851           |
| 8            | 1549             | 6876                   | 21558           |
| 9            | 1625             | 7224                   | 22899           |
| 10           | 1763             | 7933                   | 24746           |

#### ВАРИАНТ 7

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 694              | 1432                   | 34503           |

|    |      |      |       |
|----|------|------|-------|
| 2  | 738  | 1577 | 38607 |
| 3  | 829  | 1613 | 42681 |
| 4  | 799  | 1767 | 42826 |
| 5  | 892  | 1889 | 46632 |
| 6  | 900  | 2047 | 51889 |
| 7  | 1018 | 2194 | 56231 |
| 8  | 982  | 2335 | 58138 |
| 9  | 1030 | 2453 | 61756 |
| 10 | 1118 | 2694 | 66737 |

#### ВАРИАНТ 8

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 771              | 3224                   | 6763            |
| 2            | 820              | 3550                   | 7567            |
| 3            | 922              | 3632                   | 8365            |
| 4            | 888              | 3978                   | 8394            |
| 5            | 991              | 4252                   | 9140            |
| 6            | 1000             | 4609                   | 10170           |
| 7            | 1131             | 4941                   | 11021           |
| 8            | 1091             | 5257                   | 11395           |
| 9            | 1145             | 5523                   | 12104           |
| 10           | 1242             | 6065                   | 13080           |

#### ВАРИАНТ 9

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 524              | 9158                   | 8626            |
| 2            | 558              | 10082                  | 9652            |
| 3            | 627              | 10317                  | 10670           |
| 4            | 604              | 11299                  | 10707           |
| 5            | 674              | 12077                  | 11658           |
| 6            | 680              | 13090                  | 12972           |
| 7            | 769              | 14033                  | 14058           |
| 8            | 742              | 14931                  | 14535           |
| 9            | 778              | 15687                  | 15439           |
| 10           | 844              | 17227                  | 16684           |

#### ВАРИАНТ 10

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 401              | 6874                   | 8673            |
| 2            | 427              | 7568                   | 9704            |

|    |     |       |       |
|----|-----|-------|-------|
| 3  | 479 | 7743  | 10728 |
| 4  | 462 | 8481  | 10765 |
| 5  | 515 | 9065  | 11722 |
| 6  | 520 | 9825  | 13043 |
| 7  | 588 | 10533 | 14134 |
| 8  | 567 | 11207 | 14614 |
| 9  | 595 | 11775 | 15523 |
| 10 | 646 | 12930 | 16775 |

#### ВАРИАНТ 11

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 886              | 6852                   | 21089           |
| 2            | 943              | 7544                   | 23597           |
| 3            | 1060             | 7719                   | 26087           |
| 4            | 1021             | 8454                   | 26176           |
| 5            | 1140             | 9037                   | 28502           |
| 6            | 1150             | 9795                   | 31715           |
| 7            | 1300             | 10500                  | 34369           |
| 8            | 1255             | 11172                  | 35535           |
| 9            | 1316             | 11738                  | 37746           |
| 10           | 1428             | 12890                  | 40790           |

#### ВАРИАНТ 12

| № наблюдения | Трудовые ресурсы | Производственные фонды | Валовой продукт |
|--------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 1            | 1156             | 20764                  | 8535            |
| 2            | 1231             | 22860                  | 9550            |
| 3            | 1382             | 23392                  | 10558           |
| 4            | 1332             | 25619                  | 10594           |
| 5            | 1487             | 27384                  | 11536           |
| 6            | 1500             | 29681                  | 12836           |
| 7            | 1696             | 31818                  | 13910           |
| 8            | 1636             | 33854                  | 14382           |
| 9            | 1717             | 35569                  | 15277           |
| 10           | 1863             | 39060                  | 16509           |

### ТЕМА 3. СЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ

#### Практическое занятие №10-12. *Расчет параметров сетевого графа и его оптимизация*

**Цель:** ознакомиться с порядком построения сетевой модели и ее оптимизацией

**Организационная форма:** решение типовых задач

**Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:**

Студент будет знать:

- понятие сетевой модели;
- порядок и правила построения сетевой модели.

Студент будет уметь:

- строить сетевой график;
- определять основные временные параметры сетевого графа;
- осуществлять оптимизацию сетевой модели.

**Формируемые компетенции:** ПК-1, ПК-2

**Актуальность темы:** сетевое планирование и управление (СПУ) предназначено для управления комплексом взаимосвязанных работ, требующих четкой координации действий многих исполнителей

#### *Теоретическая часть*

Целью СПУ является оптимизация плана выполнения работ.

В настоящее время модели и методы СПУ широко используются при планировании и осуществлении строительно-монтажных работ, планировании торговой деятельности, составлении бухгалтерских отчетов, разработке торгово-финансового плана и т.д.

*Сетевая модель* – это графическое изображение плана выполнения работ в идее ориентированного графа.

*Граф* – это множество вершин и соединяющих их дуг (ребер).

*Ориентированный граф* – граф, на котором все дуги помечены стрелками, что позволяет определить, какая из любой пары смежных вершин является конечной, а какая начальной.

Два основных элемента сетевой модели – работа и событие.

*Работа* – это процесс, это требующий затрат ресурсов.

*Ожидание* – это тоже работа, поскольку расходуется такой ресурс, как время.

*Фиктивная работа* – это связь между событиями без затрат ресурсов.

*Событие* – это результат (промежуточный или конечный) выполнения одной или нескольких предшествующих работ.

*Начальное событие* – событие, не имеющее предшествующих событий.

*Завершающее событие* – событие, не имеющее последующих событий.

*Путь* – это любая непрерывная последовательность (цепь) работ и событий.

Для построения сетевой модели важное значение имеет подготовительный этап работы. На этом этапе определяются перечень и последовательность выполнения работ, взаимосвязи исполнителей (работ), продолжительность выполнения отдельных работ, потребность в ресурсах, а также осуществляется вербальная (описательная) постановка задачи.

При построении сетевого графика используются следующие правила:

1. При вычерчивании сетевого графика работы располагают так, чтобы каждая работа следовала за теми, от которых она зависит.
2. События нумеруют слева направо и сверху вниз.
3. В сетевой модели не должно быть событий, из которых не выходит ни одна работа, за исключением завершающего события.
4. В сетевом графике не должно быть событий (кроме исходного), которым не предшествует хотя бы одна работа.

5. В сети не должно быть замкнутых контуров и петель, т.е. путей, соединяющих некоторые события с ними же самими.
6. Любые два события должны быть непосредственно связаны не более чем одной работой – стрелкой.
7. В сети рекомендуется иметь одно исходное и одно завершающее событие.

Временные параметры сетевой модели приведены в таблице:

Таблица 1 – Основные параметры сетевого графа

| № п/п | Параметр                                   | Шифр, формула расчета                | Примечание                                                                                                                                 |
|-------|--------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Событие                                    | $i$                                  | кодируется номером                                                                                                                         |
| 2     | Работа                                     | $(i, j)$                             | кодируется номерами событий, которые она связывает                                                                                         |
| 3     | Продолжительность работы                   | $t(i, j)$                            |                                                                                                                                            |
| 4     | Продолжительность полного пути             | $t_{(L)}$                            | любой путь, начало которого совпадает с исходным событием, а конец с завершающим                                                           |
| 5     | Ранний срок совершения события             | $tp(j) = \max\{tp(i) + t(i, j)\}$    | определяется продолжительностью максимального пути, предшествующего этому событию                                                          |
| 6     | Поздний срок совершения события            | $tn(i) = \min\{tn(j) - t(i, j)\}$    | наиболее поздний (максимальный) срок наступления события, при котором еще возможно выполнение всех последующих работ в установленные сроки |
| 7     | Резерв времени события                     | $R_i = tn(i) - tp(i)$                |                                                                                                                                            |
| 8     | Ранний срок начала работы                  | $tpn(i, j) = tp(i)$                  |                                                                                                                                            |
| 9     | Ранний срок окончания работы               | $tpo(i, j) = tp(i) + t(i, j)$        |                                                                                                                                            |
| 10    | Поздний срок начала работы                 | $tnn(i, j) = tn(j) - t(i, j)$        |                                                                                                                                            |
| 11    | Поздний срок окончания работы              | $tno(i, j) = tn(j)$                  |                                                                                                                                            |
| 12    | Полный резерв времени работы               | $Rn(i, j) = tp(j) - tp(i) - t(i, j)$ | показывает на сколько можно увеличить продолжительность данной работы, чтобы общий срок выполнения всего комплекса работ не изменился      |
| 13    | Частный резерв времени работы первого вида | $R1(i, j) = tn(j) - tn(i) - t(i, j)$ | это время можно увеличить продолжительность данной работы, не изменяя позднего срока ее начального события                                 |
| 14    | Независимый резерв времени работы          | $Rc(i, j) = Rn(i, j) - R(i)$         | на это время можно увеличить продолжительность данной работы, не изменяя раннего срока ее конечного события                                |
| 15    | Независимый резерв работы                  | $Rn(i, j) = Rn(i, j) - R(i)$         | определяется, когда все предшествующие работы заканчиваются в поздние сроки, а все последующие рабо-                                       |

|    |                                     |                              |                                      |
|----|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
|    |                                     |                              | ты начинаются в ранние сроки         |
| 16 | Продолжительность критического пути | $t_{кр}$                     | наиболее продолжительный полный путь |
| 17 | Резерв времени                      | $R_{(L)} = t_{кр} - t_{(L)}$ |                                      |

Для оптимизации сетевой модели, выражающейся в перераспределении ресурсов с ненапряженных работ на критические для ускорения их выполнения, необходимо как можно более точно оценить степень трудности своевременного выполнения всех работ, а также «цепочек» пути. Более точным инструментом решения этой задачи по сравнению с полным резервом является коэффициент напряженности, который может быть вычислен одним из двух способов по приводимой ниже формуле:

$$K_H(i,j) = (t(L_{max}) - t_{кр}) / (t_{кр} - t_{кр}^*) = 1 - R_n - R_n(i,j) / (t_{кр} - t_{кр}^*)$$

где  $t(L_{max})$  — продолжительность максимального пути, проходящего через работу  $(i,j)$ ;

$t_{кр}^*$  — продолжительность отрезка рассматриваемого пути, совпадающего с критическим путем.

Коэффициент напряженности изменяется от нуля до единицы, причем, чем он ближе к единице, тем сложнее выполнить данную работу в установленный срок. Самыми напряженными являются работы критического пути, для которых он равен 1. На основе этого коэффициента все работы СМ могут быть разделены на три группы:

- напряженные ( $K_H(i,j) > 0,8$ );
- под критические ( $0,6 < K_H(i,j) < 0,8$ );
- резервные ( $K_H(i,j) < 0,6$ ).

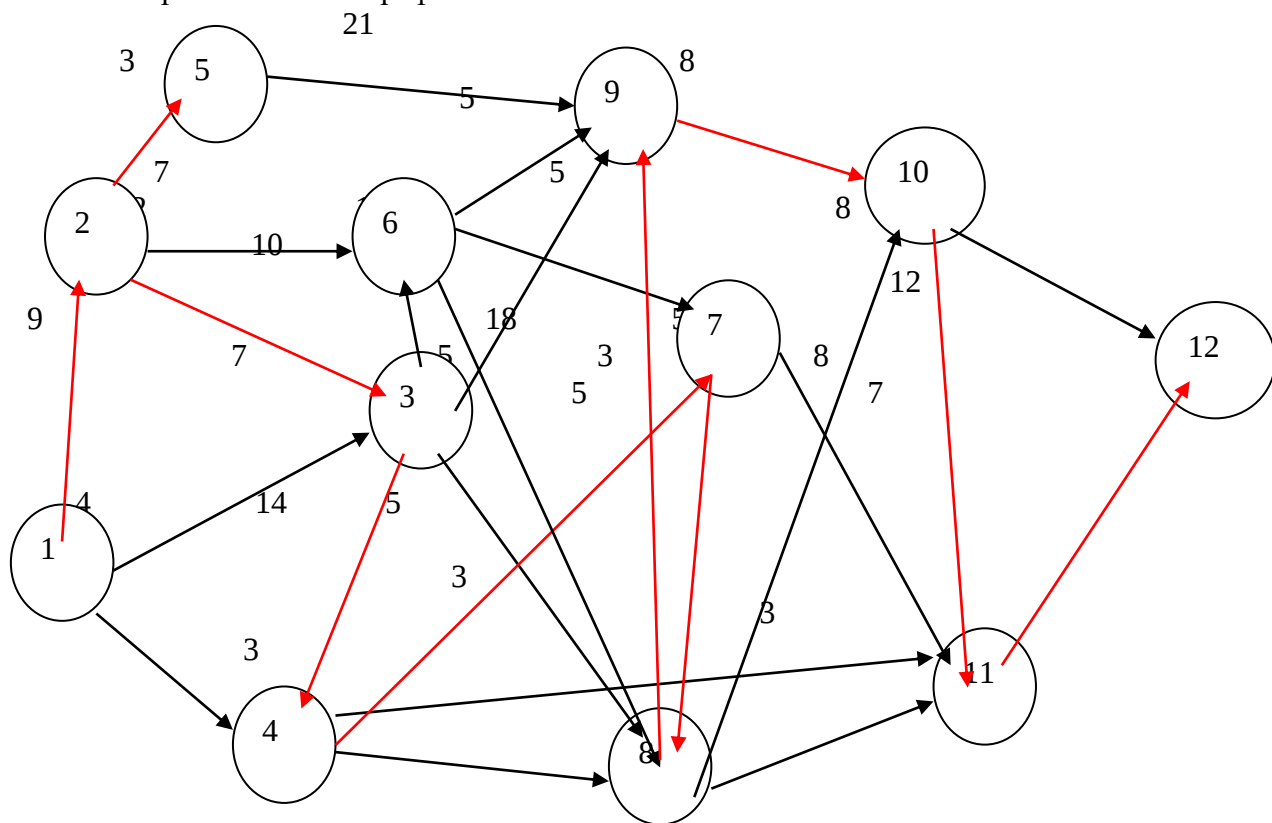
В результате перераспределения ресурсов стараются максимально уменьшить общую продолжительность работ, что возможно при переводе всех работ в первую группу.

### Пример решения

С помощью ниже приведённых данных, определить продолжительность критического пути, ранних и поздних сроков совершения работ и резервов времени не критических работ.

Решение

1. Строим сетевой график.



2. Составим расчётную таблицу 1.

Таблица 1 - Расчётная таблица

| № события, i | Сроки наступления событий |          | Резерв времени $R_i$ |
|--------------|---------------------------|----------|----------------------|
|              | $t_p(i)$                  | $t_n(i)$ |                      |
| 1            | 0                         | 0        | 0                    |
| 2            | 9                         | 9        | 0                    |
| 3            | 21                        | 28       | 7                    |
| 4            | 35                        | 42       | 7                    |
| 5            | 12                        | 32       | 20                   |
| 6            | 31                        | 35       | 4                    |
| 7            | 40                        | 40       | 0                    |
| 8            | 45                        | 45       | 0                    |
| 9            | 48                        | 48       | 0                    |
| 10           | 56                        | 56       | 0                    |
| 11           | 78                        | 78       | 0                    |
| 12           | 85                        | 85       | 0                    |

Таблица 2 - Расчетная таблица

| Работа (i j) | t (i j) | $t_{pn}(i j)$ | $t_{po}(i j)$ | $t_{nn}(i j)$ | $t_{no}(i j)$ |
|--------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1,2          | 9       | 0             | 9             | 0             | 9             |
| 1,3          | 7       | 0             | 7             | 14            | 21            |
| 1,4          | 4       | 0             | 4             | 31            | 35            |
| 2,3          | 12      | 9             | 21            | 9             | 21            |
| 2,5          | 3       | 9             | 12            | 9             | 12            |
| 2,6          | 7       | 9             | 16            | 24            | 31            |
| 3,4          | 14      | 21            | 35            | 21            | 35            |
| 3,6          | 10      | 21            | 31            | 21            | 31            |
| 3,8          | 5       | 21            | 26            | 40            | 45            |
| 3,9          | 11      | 21            | 32            | 37            | 48            |
| 4,7          | 5       | 35            | 40            | 35            | 40            |
| 4,8          | 3       | 35            | 38            | 42            | 45            |
| 4,11         | 3       | 35            | 38            | 75            | 78            |
| 5,9          | 21      | 12            | 33            | 27            | 48            |
| 6,7          | 5       | 27            | 32            | 35            | 40            |
| 6,8          | 18      | 27            | 45            | 27            | 45            |
| 6,9          | 5       | 27            | 32            | 43            | 48            |
| 7,8          | 5       | 40            | 45            | 40            | 45            |
| 7,11         | 8       | 40            | 48            | 70            | 78            |
| 8,9          | 3       | 45            | 48            | 45            | 48            |
| 8,10         | 5       | 45            | 50            | 51            | 56            |
| 8,11         | 3       | 45            | 48            | 75            | 78            |
| 9,10         | 8       | 48            | 56            | 48            | 56            |
| 10,11        | 12      | 56            | 78            | 66            | 78            |
| 10,12        | 8       | 56            | 78            | 77            | 85            |
| 11,12        | 7       | 78            | 85            | 78            | 85            |

$t_{pn}(ij) = t_p(i)$ ; - ранний срок начала работы.

$t_{po}(ij) = t_{pn}(ij) + t(ij)$ ; - ранний срок окончания работы.

$t_{пн}(ij) = t_{по}(ij) - t(ij)$ ; - поздний срок начала работы.

$t_{по}(ij) = t_{п}(j)$ ; - поздний срок окончания работы.

Таблица 3 - Расчетная таблица

| Работа (ij) | $R_n(ij)$ | $R_c(ij)$ | $R_a(ij)$ | $R_n(ij)$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1,2         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 1,3         | 14        | 7         | 21        | 14        |
| 1,4         | 31        | 24        | 38        | 31        |
| 2,3         | 0         | -7        | 7         | 0         |
| 2,5         | 0         | -20       | 20        | 0         |
| 2,6         | 11        | 7         | 19        | 11        |
| 3,4         | 0         | -7        | 0         | -7        |
| 3,6         | -4        | -8        | -3        | -11       |
| 3,8         | 19        | 19        | 12        | 12        |
| 3,9         | 16        | 16        | 9         | 9         |
| 4,7         | 0         | 0         | -7        | -7        |
| 4,8         | 7         | 7         | 0         | 0         |
| 4,11        | 40        | 40        | 33        | 37        |
| 5,9         | 15        | 15        | -5        | -5        |
| 6,7         | 8         | 8         | 0         | 4         |
| 6,8         | 0         | 0         | -8        | -4        |
| 6,9         | 16        | 16        | 8         | 12        |
| 7,8         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 7,11        | 30        | 30        | 30        | 30        |
| 8,9         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 8,10        | 6         | 6         | 36        | 6         |
| 8,11        | 30        | 30        | 30        | 30        |
| 9,10        | 0         | 0         | 0         | 0         |
| 10,11       | 10        | 10        | 10        | 10        |
| 10,12       | 21        | 21        | 21        | 21        |
| 11,12       | 0         | 0         | 0         | 0         |

$R_n(ij) = t_p(j) - t_p(i) - t(ij)$  – полный резерв времени работы.

$R_a(ij) = t_n(j) - t_n(i) - t(ij)$  – частный резерв времени работы.

$R_c(ij) = R_n(ij) - R(j)$  – независимый резерв времени работы.

$R_n(ij) = R_n(ij) - R(i)$  – независимый резерв работы.

Рассчитаем коэффициент напряжённости

$K_n(ij) = \frac{t(l_{max}) - t(l_{kp})}{t_{kp} - t(l_{kp})}$ , где  $t(l_{max})$  – длительность max из некритических путей,

проходящего через работу  $i,j$   $t(l_{kp})$  – продолжительность части критических работ, входящих в путь  $l_{max}$ .

$$K_{n(1,2)} = \frac{9-9}{85-9} = 0$$

$$K_{n(5,9)} = \frac{33-12}{85-12} = 0,29$$

$$K_{n(1,3)} = \frac{7-0}{85-0} = 0,08$$

$$K_{n(6,7)} = \frac{22-10}{85-10} = 0,16$$

$$K_{n(1,4)} = \frac{4-0}{85-0} = 0,04$$

$$K_{n(6,9)} = \frac{22-10}{85-10} = 0,16$$

$$K_{H(2,3)} = \frac{21-21}{85-21} = 0$$

$$K_{H(2,5)} = \frac{12-12}{85-12} = 0$$

$$K_{H(2,6)} = \frac{16-9}{85-9} = 0,09$$

$$K_{H(3,4)} = \frac{21-14}{85-14} = 0,09$$

$$K_{H(3,6)} = \frac{17-10}{85-10} = 0,09$$

$$K_{H(3,8)} = \frac{12-0}{85-0} = 0,14$$

$$K_{H(3,9)} = \frac{18-0}{85-0} = 0,21$$

$$K_{H(4,7)} = \frac{26-19}{85-19} = 0,10$$

$$K_{H(4,8)} = \frac{24-14}{85-14} = 0,14$$

$$K_{H(4,11)} = \frac{24-14}{85-14} = 0,14$$

$$K_{H(7,8)} = \frac{26-14}{85-14} = 0,17$$

$$K_{H(7,11)} = \frac{29-9}{85-9} = 0,26$$

$$K_{H(8,9)} = \frac{37-12}{85-12} = 0,34$$

$$K_{H(8,10)} = \frac{39-9}{85-9} = 0,39$$

$$K_{H(8,11)} = \frac{37-9}{85-9} = 0,36$$

$$K_{H(9,10)} = \frac{41-12}{85-12} = 0,39$$

$$K_{H(10,11)} = \frac{51-21}{85-21} = 0,46$$

$$K_{H(10,12)} = \frac{47-9}{85-9} = 0,5$$

$$K_{H(11,12)} = \frac{60-31}{85-31} = 0,54$$

$$K_{H(6,8)} = \frac{35-10}{85-10} = 0,33$$

**Вывод:** по расчётам коэффициентов видим, что работы (1;2), (1;3), (1;4), (2;3), (2;5), (2;6), (3;4), (3;6) и так далее находятся в резервной зоне, так как  $K_H < 0,6$ , т.е. они легко выполнимы.

### **Варианты индивидуальных заданий**

При разработке финансового проекта выделено 12 событий и 24 связывающие их работы.

#### **Задание**

1. Построить сетевой график реализации проекта
2. Оценить основные временные параметры полученной сетевой модели.

В таблице в скобках указаны направленные дуги сетевого графика, во втором столбце – продолжительность выполнения работ, соответствующих дугам.

| <b>Работы</b> | <b>Варианты</b> |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|---------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|               | <b>1</b>        | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
| <b>(1,2)</b>  | 8               | 5        | 8        | 13       | 2        | 6        | 9        | 8        | 15       | 9         |
| <b>(1,3)</b>  | 7               | 5        | 7        | 7        | 4        | 9        | 6        | 11       | 5        | 7         |
| <b>(1,4)</b>  | 3               | 12       | 4        | 8        | 6        | 5        | 7        | 3        | 12       | 4         |
| <b>(2,3)</b>  | 15              | 3        | 12       | 15       | 6        | 7        | 9        | 16       | 13       | 12        |
| <b>(2,5)</b>  | 6               | 2        | 3        | 6        | 8        | 9        | 10       | 6        | 2        | 3         |
| <b>(2,6)</b>  | 2               | 2        | 7        | 8        | 4        | 6        | 7        | 2        | 2        | 7         |
| <b>(3,4)</b>  | 14              | 3        | 14       | 17       | 8        | 13       | 11       | 14       | 3        | 14        |
| <b>(3,6)</b>  | 7               | 9        | 10       | 3        | 7        | 8        | 9        | 7        | 9        | 10        |
| <b>(3,8)</b>  | 10              | 5        | 5        | 7        | 6        | 9        | 3        | 10       | 5        | 5         |
| <b>(3,9)</b>  | 8               | 11       | 1        | 3        | 20       | 17       | 16       | 8        | 11       | 11        |
| <b>(4,7)</b>  | 8               | 4        | 5        | 6        | 9        | 3        | 6        | 8        | 4        | 5         |
| <b>(4,8)</b>  | 6               | 2        | 3        | 8        | 3        | 6        | 8        | 8        | 6        | 3         |
| <b>(4,11)</b> | 3               | 1        | 3        | 5        | 8        | 9        | 11       | 3        | 1        | 3         |
| <b>(5,9)</b>  | 5               | 12       | 21       | 4        | 6        | 8        | 2        | 5        | 12       | 21        |
| <b>(6,7)</b>  | 7               | 3        | 5        | 6        | 6        | 7        | 9        | 7        | 3        | 5         |
| <b>(6,8)</b>  | 2               | 20       | 18       | 17       | 16       | 13       | 12       | 2        | 20       | 18        |

|         |    |   |   |   |   |    |    |    |   |    |
|---------|----|---|---|---|---|----|----|----|---|----|
| (6,9)   | 11 | 3 | 5 | 6 | 7 | 7  | 8  | 11 | 3 | 5  |
| (7,8)   | 15 | 2 | 5 | 3 | 4 | 9  | 8  | 15 | 2 | 5  |
| (7,11)  | 12 | 3 | 8 | 8 | 9 | 6  | 5  | 12 | 3 | 8  |
| (8,9)   | 8  | 2 | 3 | 3 | 5 | 7  | 8  | 8  | 2 | 3  |
| (8,10)  | 10 | 4 | 6 | 6 | 8 | 7  | 9  | 10 | 4 | 5  |
| (8,11)  | 7  | 4 | 3 | 8 | 7 | 13 | 17 | 7  | 4 | 3  |
| (9,10)  | 4  | 5 | 8 | 9 | 3 | 25 | 14 | 9  | 5 | 8  |
| (10,11) | 3  | 4 | 2 | 2 | 4 | 5  | 5  | 8  | 4 | 12 |
| (10,12) | 9  | 5 | 8 | 2 | 9 | 6  | 8  | 9  | 5 | 8  |
| (11,12) | 2  | 9 | 7 | 6 | 8 | 7  | 3  | 12 | 9 | 7  |

#### ТЕМА 4. ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

##### Практическое занятие № 13-15 . Построение динамической модели управления производственной мощностью

**Цель:** сформировать навыки построения и анализа динамической модели

**Организационная форма:** решение типовых задач

**Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:**

Студент будет знать:

- общую характеристику метода динамического программирования;
- подходы к построению динамической модели.

Студент будет уметь:

- осуществлять построение и анализ динамической модели.

**Формируемые компетенции:** ПК-1, ПК-2

**Актуальность темы:** Метод динамического программирования - один из наиболее мощных и широко известных математических методов современной теории управления, был предложен в конце 50-х годов американским математиком Р. Беллманом и быстро получил широкое распространение.

##### *Теоретическая часть*

*Динамическое программирование* – это математический метод поиска оптимального управления, специально приспособленный к многошаговым процессам.

Рассмотрим пример такого процесса. Пусть планируется деятельность группы предприятий на  $N$  лет. Здесь шагом является один год. В начале 1-го года на развитие предприятий выделяются средства, которые должны быть как-то распределены между этими предприятиями. В процессе их функционирования выделенные средства частично расходуются. Каждое предприятие за год приносит некоторый доход, зависящий от вложенных средств. В начале года имеющиеся средства могут перераспределяться между предприятиями: каждому из них выделяется какая-то доля средств.

Ставится вопрос: как в начале каждого года распределять имеющиеся средства между предприятиями, чтобы суммарный доход от всех предприятий за  $N$  лет был максимальным?

Это типичная задача динамического программирования, в которой рассматривается управляемый процесс – функционирование группы предприятий. Управление процессом состоит в распределении (и перераспределении) средств. Управляющим воздействием (УВ) является выделение каких-то средств каждому из предприятий в начале года. Управляющее воздействие на каждом шаге должно выбираться с учетом всех его последствий в будущем, должно быть дальновидным, с учетом перспективы. Нет смысла выбирать на рассматриваемом шаге наилучшее УВ, если в дальнейшем это помешает получить наилучшие результаты других шагов.

В формализме решения задач методом динамического программирования используются следующие обозначения:

$N$  – число шагов.

$\bar{x}_k = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk})$  – вектор, описывающий состояние системы на  $k$ -м шаге.

$\bar{x}_0$  – начальное состояние, т.е. состояние на 1-м шаге.

$\bar{x}_N$  – конечное состояние, т. е. состояние на последнем шаге.

$X_k$  – область допустимых состояний на  $k$ -ом шаге.

$\bar{u} = (u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{mk})$  – вектор управляющего воздействия на  $k$ -ом шаге, обеспечивающий переход системы из состояния  $x_{k-1}$  в состояние  $x_k$ .

$U_k$  – область допустимых управляющих воздействий на  $k$ -ом шаге.

$W_k$  – величина выигрыша, полученного в результате реализации  $k$ -го шага.

$S$  – общий выигрыш за  $N$  шагов.

$\bar{u}^* = (\bar{u}_1^*, \bar{u}_2^*, \dots, \bar{u}_N^*)$  – вектор оптимальной стратегии управления (ОУВ) за  $N$  шагов.

$S_{k+1}(\bar{x}_k)$  – максимальный выигрыш, получаемый при переходе из любого состояния  $\bar{x}_k$  в конечное состояние  $\bar{x}_0$  при оптимальной стратегии управления начиная с  $(k+1)$ -го шага.

$S_1(\bar{x}_0)$  – максимальный выигрыш, получаемый за  $N$  шагов при переходе системы из начального состояния  $\bar{x}_0$  в конечное  $\bar{x}_N$  при реализации оптимальной стратегии управления  $\bar{u}^*$ . Очевидно, что  $S = S_1(\bar{x}_0)$ , если  $\bar{x}_0$  – фиксировано.

Метод динамического программирования опирается на условие отсутствия последствия и условие аддитивности целевой функции.

*Условие отсутствия последствия.* Состояние  $\bar{x}_k$ , в которое перешла система за один  $k$ -й шаг, зависит от состояния  $\bar{x}_{k-1}$  и выбранного управляющего воздействия  $\bar{u}_k$  и не зависит от того, каким образом система пришла в состояние  $\bar{x}_{k-1}$ , то есть

$$\bar{x}_k = \bar{f}_k(\bar{x}_{k-1}, \bar{u}_k). \quad (1)$$

Аналогично, величина выигрыша  $W_k$  зависит от состояния  $\bar{x}_{k-1}$  и выбранного управляющего воздействия  $\bar{u}_k$ , то есть

$$W_k = W_k(\bar{x}_{k-1}, \bar{u}_k). \quad (2)$$

*Условие аддитивности целевой функции.* Общий выигрыш за  $N$  шагов вычисляется по формуле

$$S = \sum_{k=1}^N W_k(\bar{x}_{k-1}, \bar{u}_k). \quad (3)$$

**Определение.** Оптимальной стратегией управления  $\bar{u}^*$  называется совокупность УВ  $\bar{u}_1^*, \bar{u}_2^*, \dots, \bar{u}_N^*$ , то есть  $\bar{u}^* = (\bar{u}_1^*, \bar{u}_2^*, \dots, \bar{u}_N^*)$ , в результате реализации которых система за  $N$  шагов переходит из начального состояния  $\bar{x}_0$  в конечное  $\bar{x}_N$  и при этом общий выигрыш  $S$  принимает наибольшее значение.

Условие отсутствия последствия позволяет сформулировать принцип оптимальности Белмана.

*Принцип оптимальности.* Каково бы ни было допустимое состояние системы  $\bar{x}_{i-1} \in X_{i-1}$  перед очередным  $i$ -м шагом, надо выбрать допустимое управляющее воздействие  $\bar{u}_i \in U_i$  на этом шаге так, чтобы выигрыш  $W_i$  на  $i$ -м шаге плюс оптимальный выигрыш на всех последующих шагах был максимальным.

### **Методические указания (пример решения)**

Разработать методом динамического программирования оптимальный план управления производственными мощностями, при следующих исходных данных, приведённых в таблице 1:

| Показатель                                                                                                                  | значение |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| распределение объёма строительно – монтажных работ по кварталам года (млн. руб.)                                            | 1        |
|                                                                                                                             | 6        |
|                                                                                                                             | 7        |
|                                                                                                                             | 3        |
| затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объёма работ) | 30       |
| затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте ( тыс. руб. на млн. руб. объёма работ ).                       | 50       |
| потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объёма работ).                                                       | 40       |
| затраты при организации третьей смены ( тыс. руб. на млн. руб. объёма работ).                                               | 70       |

**I этап:** Описание системы.

Обозначим производственные мощности в начале первого квартала; за единицу примем производственные мощности для выполнения объёма работ в 1млн. руб. Обозначим через  $m_i$  требуемое количество производственных мощностей для выполнения заданного в первом квартале объёма работ ( $m_1 = 1, m_2 = 6, m_3 = 7, m_4 = 3$ ).

Состояние системы  $S_i$  определяется величиной  $X_i$ . Управление  $U_i$  состоит в переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на какие либо другие или наоборот, а также в организации дополнительной третьей смены при нехватке мощностей

**II этап:** Определение функции эффекта.

Изменение производственной мощности  $X_i$  на объекте, либо дополнительное использование имеющихся производственных мощностей за счёт организации третьей смены, затраты определяются следующим образом:

$$f_i ( X_i ) = \begin{cases} 50 ( X_i - X_{i-1} ), & \text{при } X_i > X_{i-1} \\ 30 ( X_{i-1} - X_i ), & \text{при } X_i < X_{i-1} \end{cases}$$

$$\varphi_i ( X_i ) = \begin{cases} 40 ( X_i - m_i ), & \text{при } X_i > m_i \\ 70 ( m_i - X_i ), & \text{при } X_i < m_i \end{cases}$$

Общая функция затрат примет вид:

$$W_i ( X_i ) = f_i ( X_i ) + \varphi_i ( X_i )$$

**III этап:** Определение функций изменения состояния системы.

$$S_i = X_i + X_{i+1}$$

**IV этап:**  $W_i ( X_i ) = \min [ f_i ( X_i ) + \varphi_i ( X_i ) + W_i ( X_i + 1 ) ]$

**V этап:** Определение условных оптимальных затрат.

$$W_4 ( X_4 ) = \min \{ f_4 ( X_4 ) + \varphi_4 ( X_4 ) \}$$

$$f_4 ( X_4 ) = \begin{cases} 50 ( X_4 - X_3 ), & \text{при } X_4 > X_3 \\ 30 ( X_3 - X_4 ), & \text{при } X_4 < X_3 \end{cases}$$

$$\varphi_4 ( X_4 ) = \begin{cases} 40 ( X_4 - 3 ), & \text{при } X_4 > 3 \\ 70 ( 3 - X_4 ), & \text{при } X_4 < 3 \end{cases}$$

$$X_3 = 0 ; X_4 = 0 \quad W_4 ( X_4 ) = 70 ( 3 - 0 ) = 210 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_3 = 0 ; X_4 = 1 \quad W_4 ( X_4 ) = 50 ( 1 - 0 ) + 70 ( 3 - 1 ) = 190 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_3 = 0 ; X_4 = 2 \quad W_4 ( X_4 ) = 50 ( 2 - 0 ) + 70 ( 3 - 2 ) = 170 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_3 = 0 ; X_4 = 3 \quad W_4 ( X_4 ) = 50 ( 3 - 0 ) = 150 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_3 = 0 ; X_4 = 4 \quad W_4 ( X_4 ) = 50 ( 4 - 0 ) + 40 ( 4 - 3 ) = 240 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_3 = 1 ; X_4 = 0 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 1 - 0 ) + 70 ( 3 - 0 ) = 240 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_3 = 1 ; X_4 = 1 \quad W_4 ( X_4 ) = 70 ( 3 - 1 ) = 140 \text{ тыс. руб.}$$

$X_3 = 1 ; X_4 = 2 \quad W_4 ( X_4 ) = 50 ( 2 - 1 ) + 70 ( 3 - 2 ) = 120 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 1 ; X_4 = 3 \quad W_4 ( X_4 ) = 50 ( 3 - 1 ) = 100 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 1 ; X_4 = 4 \quad W_4 ( X_4 ) = 50 ( 4 - 1 ) + 40 ( 4 - 3 ) = 190 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 2 ; X_4 = 0 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 2 - 0 ) + 70 ( 3 - 0 ) = 270 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 2 ; X_4 = 1 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 2 - 1 ) + 70 ( 3 - 1 ) = 170 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 2 ; X_4 = 2 \quad W_4 ( X_4 ) = 70 ( 3 - 2 ) = 70 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 2 ; X_4 = 3 \quad W_4 ( X_4 ) = 50 ( 3 - 2 ) = 50 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 2 ; X_4 = 4 \quad W_4 ( X_4 ) = 50 ( 4 - 2 ) + 40 ( 4 - 3 ) = 140 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 3 ; X_4 = 0 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 3 - 0 ) + 70 ( 3 - 0 ) = 300 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 3 ; X_4 = 1 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 3 - 1 ) + 70 ( 3 - 1 ) = 170 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 3 ; X_4 = 2 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 3 - 2 ) + 70 ( 3 - 2 ) = 100 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 3 ; X_4 = 3 \quad W_4 ( X_4 ) = 0 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 4 ; X_4 = 0 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 4 - 0 ) + 70 ( 3 - 0 ) = 330 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 4 ; X_4 = 1 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 4 - 1 ) + 70 ( 3 - 1 ) = 230 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 4 ; X_4 = 2 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 4 - 2 ) + 70 ( 3 - 2 ) = 130 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 4 ; X_4 = 3 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 4 - 3 ) = 30 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 4 ; X_4 = 4 \quad W_4 ( X_4 ) = 40 ( 4 - 3 ) = 40 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 5 ; X_4 = 0 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 5 - 0 ) + 70 ( 3 - 0 ) = 360 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 5 ; X_4 = 1 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 5 - 1 ) + 70 ( 3 - 1 ) = 260 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 5 ; X_4 = 2 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 5 - 2 ) + 70 ( 3 - 2 ) = 160 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 5 ; X_4 = 3 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 5 - 3 ) = 60 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 5 ; X_4 = 4 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 5 - 4 ) + 40 ( 4 - 3 ) = 70 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 6 ; X_4 = 0 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 6 - 0 ) + 70 ( 3 - 0 ) = 390 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 6 ; X_4 = 1 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 6 - 1 ) + 70 ( 3 - 1 ) = 290 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 6 ; X_4 = 2 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 6 - 2 ) + 70 ( 3 - 2 ) = 190 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 6 ; X_4 = 3 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 6 - 3 ) = 90 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 6 ; X_4 = 4 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 6 - 4 ) + 40 ( 4 - 3 ) = 100 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 7 ; X_4 = 0 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 7 - 0 ) + 70 ( 3 - 0 ) = 420 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 7 ; X_4 = 1 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 7 - 1 ) + 70 ( 3 - 1 ) = 320 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 7 ; X_4 = 2 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 7 - 2 ) + 70 ( 3 - 2 ) = 220 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 7 ; X_4 = 3 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 7 - 3 ) = 120 \text{ тыс. руб.}$   
 $X_3 = 7 ; X_4 = 4 \quad W_4 ( X_4 ) = 30 ( 7 - 4 ) + 40 ( 4 - 3 ) = 130 \text{ тыс. руб.}$

Сведём полученные результаты в таблицу:

Таблица 2 - Расчетные данные

| Производственные мощно-<br>сти в 3-м квартале | Минимальные затраты 4-го<br>квартала | Условно-оптимальные про-<br>изводственные мощности<br>(управления) |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| $X_3$                                         | $W_4 ( X_4 )$                        | $X_4$                                                              |
| 0                                             | 100                                  | 1                                                                  |
| 1                                             | 0                                    | 1                                                                  |
| 2                                             | 70                                   | 1                                                                  |
| 3                                             | 140                                  | 1                                                                  |
| 4                                             | 210                                  | 1                                                                  |
| 5                                             | 280                                  | 1                                                                  |

**VI этап:**  $W_3 ( X_3 ) = \min \{ f_3 ( X_3 ) + \varphi_3 ( X_3 ) + W_4 ( X_4 ) \}$   
 $f_3 ( X_3 ) = \begin{cases} 50 ( X_3 - X_2 ), & \text{при } X_3 > X_2 \\ 30 ( X_2 - X_3 ), & \text{при } X_3 < X_2 \end{cases}$   
 $\varphi_3 ( X_3 ) = \begin{cases} 40 ( X_3 - 7 ), & \text{при } X_3 > 7 \\ 70 ( 7 - X_3 ), & \text{при } ( X_3 < 7 ) \end{cases}$   
 $X_2 = 0 ; X_3 = 0 \quad W_3 ( X_3 ) = 70 ( 7 - 0 ) = 490 + 150 = 640 \text{ тыс. руб.}$

|                     |                                                                         |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| $X_2 = 0 ; X_3 = 1$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 1 - 0 ) + 70 ( 7 - 1 ) = 470 + 100 = 570$ тыс. руб. |
| $X_2 = 0 ; X_3 = 2$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 2 - 0 ) + 70 ( 7 - 2 ) = 450 + 50 = 500$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 0 ; X_3 = 3$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 3 - 0 ) + 70 ( 7 - 3 ) = 430 + 0 = 430$ тыс. руб.   |
| $X_2 = 0 ; X_3 = 4$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 4 - 0 ) + 70 ( 7 - 4 ) = 410 + 30 = 440$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 1 ; X_3 = 0$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 1 - 0 ) + 70 ( 7 - 0 ) = 520 + 150 = 670$ тыс. руб. |
| $X_2 = 1 ; X_3 = 1$ | $W_3 ( X_3 ) = 70 ( 7 - 1 ) = 420 + 100 = 520$ тыс. руб.                |
| $X_2 = 1 ; X_3 = 2$ | $W_3 ( X_3 ) = 70 ( 7 - 2 ) + 50 ( 2 - 1 ) = 400 + 50 = 450$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 1 ; X_3 = 3$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 3 - 1 ) + 70 ( 7 - 3 ) = 380 + 0 = 380$ тыс. руб.   |
| $X_2 = 1 ; X_3 = 4$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 4 - 1 ) + 70 ( 7 - 4 ) = 360 + 30 =$ тыс. руб.      |
| $X_2 = 2 ; X_3 = 0$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 2 - 0 ) + 70 ( 7 - 0 ) = 550 + 150 = 700$ тыс. руб. |
| $X_2 = 2 ; X_3 = 1$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 2 - 1 ) + 70 ( 7 - 1 ) = 450 + 100 =$ тыс. руб.     |
| $X_2 = 2 ; X_3 = 2$ | $W_3 ( X_3 ) = 70 ( 7 - 2 ) = 350 + 50 = 400$ тыс. руб.                 |
| $X_2 = 2 ; X_3 = 3$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 3 - 2 ) + 70 ( 7 - 3 ) = 330 + 0 = 330$ тыс. руб.   |
| $X_2 = 2 ; X_3 = 4$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 4 - 2 ) + 70 ( 7 - 2 ) = 450 + 30 = 480$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 3 ; X_3 = 0$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 3 - 0 ) + 70 ( 7 - 0 ) = 580 + 150 = 730$ тыс. руб. |
| $X_2 = 3 ; X_3 = 1$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 3 - 1 ) + 70 ( 7 - 1 ) = 480 + 100 = 580$ тыс. руб. |
| $X_2 = 3 ; X_3 = 2$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 3 - 2 ) + 70 ( 7 - 2 ) = 380 + 50 = 430$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 3 ; X_3 = 3$ | $W_3 ( X_3 ) = 70 ( 7 - 3 ) = 280 + 0 = 280$ тыс. руб.                  |
| $X_2 = 3 ; X_3 = 4$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 4 - 3 ) + 70 ( 7 - 4 ) = 260 + 30 = 290$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 4 ; X_3 = 0$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 4 - 0 ) + 70 ( 7 - 0 ) = 610 + 150 = 760$ тыс. руб. |
| $X_2 = 4 ; X_3 = 1$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 4 - 1 ) + 70 ( 7 - 1 ) = 510 + 100 = 610$ тыс. руб. |
| $X_2 = 4 ; X_3 = 2$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 4 - 2 ) + 70 ( 7 - 2 ) = 410 + 50 = 460$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 4 ; X_3 = 3$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 4 - 3 ) + 70 ( 7 - 3 ) = 310 + 0 = 310$ тыс. руб.   |
| $X_2 = 4 ; X_3 = 4$ | $W_3 ( X_3 ) = 70 ( 7 - 4 ) = 210 + 30 = 240$ тыс. руб.                 |
| $X_2 = 4 ; X_3 = 5$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 5 - 4 ) + 70 ( 7 - 5 ) = 190 + 60 = 250$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 5 ; X_3 = 0$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 5 - 0 ) + 70 ( 7 - 0 ) = 640 + 150 =$ тыс. руб.     |
| $X_2 = 5 ; X_3 = 1$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 5 - 1 ) + 70 ( 7 - 1 ) = 540 + 100 = 640$ тыс. руб. |
| $X_2 = 5 ; X_3 = 2$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 5 - 2 ) + 70 ( 7 - 2 ) = 440 + 50 = 490$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 5 ; X_3 = 3$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 5 - 3 ) + 70 ( 7 - 3 ) = 340 + 0 = 340$ тыс. руб.   |
| $X_2 = 5 ; X_3 = 4$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 5 - 4 ) + 70 ( 7 - 4 ) = 240 + 30 = 270$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 5 ; X_3 = 5$ | $W_3 ( X_3 ) = 70 ( 7 - 5 ) = 140 + 60 = 200$ тыс. руб.                 |
| $X_2 = 5 ; X_3 = 6$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 6 - 5 ) + 70 ( 7 - 6 ) = 120 + 90 = 210$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 6 ; X_3 = 0$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 6 - 0 ) + 70 ( 7 - 0 ) = 670 + 150 = 820$ тыс. руб. |
| $X_2 = 6 ; X_3 = 1$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 6 - 1 ) + 70 ( 7 - 1 ) = 570 + 100 = 670$ тыс. руб. |
| $X_2 = 6 ; X_3 = 2$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 6 - 2 ) + 70 ( 7 - 2 ) = 470 + 50 = 520$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 6 ; X_3 = 3$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 6 - 3 ) + 70 ( 7 - 3 ) = 370 + 0 = 370$ тыс. руб.   |
| $X_2 = 6 ; X_3 = 4$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 6 - 4 ) + 70 ( 7 - 4 ) = 270 + 30 = 300$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 6 ; X_3 = 5$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 6 - 5 ) + 70 ( 7 - 5 ) = 170 + 60 = 230$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 6 ; X_3 = 6$ | $W_3 ( X_3 ) = 70 ( 7 - 6 ) = 70 + 90 = 160$ тыс. руб.                  |
| $X_2 = 6 ; X_3 = 7$ | $W_3 ( X_3 ) = 50 ( 7 - 6 ) = 50 + 120 = 170$ тыс. руб.                 |
| $X_2 = 7 ; X_3 = 0$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 7 - 0 ) + 70 ( 7 - 0 ) = 700 + 150 = 850$ тыс. руб. |
| $X_2 = 7 ; X_3 = 1$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 7 - 1 ) + 70 ( 7 - 1 ) = 600 + 100 = 700$ тыс. руб. |
| $X_2 = 7 ; X_3 = 2$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 7 - 2 ) + 70 ( 7 - 2 ) = 500 + 50 = 550$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 7 ; X_3 = 3$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 7 - 3 ) + 70 ( 7 - 3 ) = 400 + 0 = 400$ тыс. руб.   |
| $X_2 = 7 ; X_3 = 4$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 7 - 4 ) + 70 ( 7 - 4 ) = 300 + 30 = 330$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 7 ; X_3 = 5$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 7 - 5 ) + 70 ( 7 - 5 ) = 200 + 60 = 260$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 7 ; X_3 = 6$ | $W_3 ( X_3 ) = 30 ( 7 - 6 ) + 70 ( 7 - 6 ) = 100 + 90 = 190$ тыс. руб.  |
| $X_2 = 7 ; X_3 = 7$ | $W_3 ( X_3 ) = 0 + 120 = 120$ тыс. руб.                                 |

Таблица 3 - Расчетные данные

| Производственные мощности во 2-м квартале | Минимальные затраты 3-го квартала | Условно-оптимальные производственные мощ- | Условно-оптимальные производственные мощ- |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
|-------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|

|       |            | ности в 3-м квартале | ности в 4-м квартале |
|-------|------------|----------------------|----------------------|
| $X_2$ | $W_3(X_3)$ | $X_3$                | $X_4$                |
| 0     | 320        | 1                    | 1                    |
| 1     | 220        | 1                    | 1                    |
| 2     | 180        | 2                    | 1                    |
| 3     | 140        | 3                    | 1                    |
| 4     | 210        | 3                    | 1                    |
| 5     | 280        | 3                    | 1                    |

$$W_2(X_2) = \min \{ f_2(X_2) + \varphi_2(X_2) + W_3(X_3) \}$$

$$f_2(X_2) = \begin{cases} 50(X_2 - X_1), & \text{при } X_2 > X_1 \\ 30(X_1 - X_2), & \text{при } X_2 < X_1 \end{cases}$$

$$\varphi_2(X_2) = \begin{cases} 40(X_2 - m), & \text{при } X_2 > m; X_2 > 6 \\ 70(m - X_2), & \text{при } X_2 < m; X_2 < 6 \end{cases}$$

$X_1 = 0; X_2 = 0$      $W_2(X_2) = 70(6 - 0) = 420 + 430 = 850$  тыс. руб.  
 $X_1 = 0; X_2 = 1$      $W_2(X_2) = 50(1 - 0) + 70(6 - 1) = 400 + 380 = 780$  тыс. руб.  
 $X_1 = 0; X_2 = 2$      $W_2(X_2) = 50(2 - 0) + 70(6 - 2) = 380 + 330 = 710$  тыс. руб.  
 $X_1 = 0; X_2 = 3$      $W_2(X_2) = 50(3 - 0) + 70(5 - 3) = 360 + 280 = 640$  тыс. руб.  
 $X_1 = 0; X_2 = 4$      $W_2(X_2) = 50(4 - 0) + 70(6 - 4) = 340 + 240 = 580$  тыс. руб.  
 $X_1 = 0; X_2 = 5$      $W_2(X_2) = 50(5 - 0) + 70(6 - 5) = 320 + 200 = 520$  тыс. руб.  
 $X_1 = 0; X_2 = 6$      $W_2(X_2) = 50(6 - 0) + 70(6 - 6) = 300 + 160 = 460$  тыс. руб.  
 $X_1 = 0; X_2 = 7$      $W_2(X_2) = 50(7 - 0) + 40(7 - 6) = 390 + 120 = 510$  тыс. руб.  
 $X_1 = 1; X_2 = 0$      $W_2(X_2) = 30(1 - 0) + 70(6 - 0) = 450 + 430 = 880$  тыс. руб.  
 $X_1 = 1; X_2 = 1$      $W_2(X_2) = 70(6 - 1) = 350 + 380 = 730$  тыс. руб.  
 $X_1 = 1; X_2 = 2$      $W_2(X_2) = 50(2 - 1) + 70(6 - 2) = 330 + 330 = 660$  тыс. руб.  
 $X_1 = 1; X_2 = 3$      $W_2(X_2) = 50(3 - 1) + 70(6 - 3) = 310 + 280 = 590$  тыс. руб.  
 $X_1 = 1; X_2 = 4$      $W_2(X_2) = 50(4 - 1) + 70(6 - 4) = 290 + 240 = 530$  тыс. руб.  
 $X_1 = 1; X_2 = 5$      $W_2(X_2) = 50(5 - 1) + 70(6 - 5) = 270 + 200 = 470$  тыс. руб.  
 $X_1 = 1; X_2 = 6$      $W_2(X_2) = 50(6 - 1) + 70(6 - 6) = 250 + 160 = 410$  тыс. руб.  
 $X_1 = 1; X_2 = 7$      $W_2(X_2) = 50(7 - 1) + 40(7 - 6) = 340 + 120 = 460$  тыс. руб.  
 $X_1 = 2; X_2 = 0$      $W_2(X_2) = 30(2 - 0) + 70(6 - 0) = 480 + 430 = 910$  тыс. руб.  
 $X_1 = 2; X_2 = 1$      $W_2(X_2) = 30(2 - 1) + 70(6 - 1) = 380 + 380 = 760$  тыс. руб.  
 $X_1 = 6; X_2 = 2$      $W_2(X_2) = 30(6 - 2) + 70(6 - 2) = 400 + 330 = 730$  тыс. руб.  
 $X_1 = 6; X_2 = 3$      $W_2(X_2) = 30(6 - 3) + 70(6 - 3) = 300 + 280 = 580$  тыс. руб.  
 $X_1 = 6; X_2 = 4$      $W_2(X_2) = 30(6 - 4) + 70(6 - 4) = 200 + 240 = 440$  тыс. руб.  
 $X_1 = 6; X_2 = 5$      $W_2(X_2) = 30(6 - 5) + 70(6 - 5) = 100 + 200 = 300$  тыс. руб.  
 $X_1 = 6; X_2 = 6$      $W_2(X_2) = 0 + 160 = 160$  тыс. руб.  
 $X_1 = 6; X_2 = 7$      $W_2(X_2) = 50(7 - 6) + 40(7 - 6) = 90 + 120 = 210$  тыс. руб.  
 $X_1 = 7; X_2 = 0$      $W_2(X_2) = 30(7 - 0) + 70(6 - 0) = 630 + 430 = 1060$  тыс. руб.  
 $X_1 = 7; X_2 = 1$      $W_2(X_2) = 30(7 - 1) + 70(6 - 1) = 530 + 380 = 910$  тыс. руб.  
 $X_1 = 7; X_2 = 2$      $W_2(X_2) = 30(7 - 2) + 70(6 - 2) = 430 + 330 = 760$  тыс. руб.  
 $X_1 = 7; X_2 = 3$      $W_2(X_2) = 30(7 - 3) + 70(6 - 3) = 330 + 280 = 610$  тыс. руб.  
 $X_1 = 7; X_2 = 4$      $W_2(X_2) = 30(7 - 4) + 70(6 - 4) = 230 + 240 = 470$  тыс. руб.  
 $X_1 = 7; X_2 = 5$      $W_2(X_2) = 30(7 - 5) + 70(6 - 5) = 130 + 200 = 330$  тыс. руб.  
 $X_1 = 7; X_2 = 6$      $W_2(X_2) = 30(7 - 6) + 70(6 - 6) = 30 + 160 = 190$  тыс. руб.  
 $X_1 = 7; X_2 = 7$      $W_2(X_2) = 40(7 - 6) = 40 + 120 = 160$  тыс. руб.

Таблица 4 - Расчетные данные

| Производственные мощности в 1-м квартале | Минимальные затраты 2-го квартала | Условно-оптимальные производственные мощности в 3-м квартале | Условно-оптимальные производственные мощности в 3-м квартале | Условно-оптимальные производственные мощности в 4-м квартал |
|------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| $X_1$                                    | $W_2 (X_2)$                       | $X_2$                                                        | $X_3$                                                        | $X_4$                                                       |
| 0                                        | 660                               | 3                                                            | 1                                                            | 1                                                           |
| 1                                        | 560                               | 3                                                            | 1                                                            | 1                                                           |
| 2                                        | 460                               | 3                                                            | 2                                                            | 1                                                           |
| 3                                        | 360                               | 3                                                            | 3                                                            | 1                                                           |
| 4                                        | 320                               | 4                                                            | 3                                                            | 1                                                           |
| 5                                        | 280                               | 5                                                            | 3                                                            | 1                                                           |

$$W_1 (X_1) = \min \{ f_1 (X_1) + \varphi_1 (X_1) + W_2 (X_2) \}$$

$$f_1 (X_1) = 50 (X_1 - X_0), \text{ при } X_1 > X_0$$

$$30 (X_0 - X_1), \text{ при } X_1 < X_0$$

$$\varphi_1 (X_1) = 40 (X_1 - 1), \text{ при } X_1 > 1$$

$$70 (1 - X_1), \text{ при } X_1 < 1$$

Поскольку  $X_0$  задана по условию задачи, то найдём условию – переменные затраты при  $X_0 = 2$ .

$$X_1 = 2; X_2 = 2 \quad W_2 (X_2) = 70 (6 - 2) = 280 + 430 = 710 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 2; X_2 = 5 \quad W_2 (X_2) = 50 (5 - 2) + 70 (6 - 5) = 220 + 280 = 500 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 2; X_2 = 6 \quad W_2 (X_2) = 50 (6 - 2) = 200 + 240 = 440 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 2; X_2 = 7 \quad W_2 (X_2) = 50 (7 - 2) + 40 (7 - 6) = 290 + 200 = 490 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 3; X_2 = 0 \quad W_2 (X_2) = 30 (3 - 0) + 70 (6 - 0) = 510 + 430 = 940 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 3; X_2 = 1 \quad W_2 (X_2) = 30 (3 - 1) + 70 (6 - 1) = 410 + 380 = 790 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 3; X_2 = 2 \quad W_2 (X_2) = 30 (3 - 2) + 70 (6 - 2) = 310 + 330 = 640 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 3; X_2 = 3 \quad W_2 (X_2) = 30 (3 - 3) + 70 (6 - 3) = 210 + 280 = 490 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 3; X_2 = 4 \quad W_2 (X_2) = 50 (4 - 3) + 70 (6 - 4) = 190 + 240 = 430 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 3; X_2 = 5 \quad W_2 (X_2) = 50 (5 - 3) + 70 (6 - 5) = 170 + 200 = 370 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 3; X_2 = 6 \quad W_2 (X_2) = 50 (6 - 3) = 150 + 160 = 310 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 3; X_2 = 7 \quad W_2 (X_2) = 50 (7 - 3) + 40 (7 - 6) = 240 + 120 = 360 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 4; X_2 = 0 \quad W_2 (X_2) = 30 (4 - 0) + 70 (6 - 0) = 540 + 430 = 970 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 4; X_2 = 1 \quad W_2 (X_2) = 30 (4 - 1) + 70 (6 - 1) = 440 + 380 = 820 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 4; X_2 = 2 \quad W_2 (X_2) = 30 (4 - 2) + 70 (6 - 2) = 340 + 330 = 670 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 4; X_2 = 3 \quad W_2 (X_2) = 30 (4 - 3) + 70 (6 - 3) = 240 + 280 = 500 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 4; X_2 = 4 \quad W_2 (X_2) = 30 (4 - 4) + 70 (6 - 4) = 140 + 240 = 380 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 4; X_2 = 5 \quad W_2 (X_2) = 50 (5 - 4) + 70 (6 - 5) = 120 + 200 = 320 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 4; X_2 = 6 \quad W_2 (X_2) = 50 (6 - 4) + 70 (6 - 6) = 100 + 160 = 260 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 4; X_2 = 7 \quad W_2 (X_2) = 50 (7 - 4) + 40 (7 - 6) = 190 + 120 = 310 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 5; X_2 = 0 \quad W_2 (X_2) = 30 (5 - 0) + 70 (6 - 0) = 570 + 430 = 1000 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 5; X_2 = 1 \quad W_2 (X_2) = 30 (5 - 1) + 70 (6 - 1) = 470 + 380 = 850 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 5; X_2 = 2 \quad W_2 (X_2) = 30 (5 - 2) + 70 (6 - 2) = 370 + 330 = 700 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 5; X_2 = 3 \quad W_2 (X_2) = 30 (5 - 3) + 70 (6 - 3) = 270 + 280 = 550 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 5; X_2 = 4 \quad W_2 (X_2) = 30 (5 - 4) + 70 (6 - 4) = 170 + 240 = 410 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 5; X_2 = 5 \quad W_2 (X_2) = 70 (6 - 5) = 70 + 200 = 270 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 5; X_2 = 6 \quad W_2 (X_2) = 50 (6 - 5) = 50 + 160 = 210 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 5; X_2 = 7 \quad W_2 (X_2) = 50 (7 - 5) + 40 (7 - 6) = 140 + 120 = 260 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 6; X_2 = 0 \quad W_2 (X_2) = 30 (6 - 0) + 70 (6 - 0) = 600 + 430 = 1030 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_1 = 6; X_2 = 1 \quad W_2 (X_2) = 30 (6 - 1) + 70 (6 - 1) = 500 + 380 = 880 \text{ тыс. руб.}$$

$$X_0 = 2; X_1 = 0 \quad W_1 (X_1) = 30 (2 - 0) + 70 (1 - 0) = 130 + 460 = 590 \text{ тыс. руб.}$$

$X_0 = 2; X_1 = 1 \quad W_1 (X_1) = 30 (2 - 1) + 70 (1 - 1) = 30 + 410 = 440$  тыс. руб.

$X_0 = 2; X_1 = 2 \quad W_1 (X_1) = 40 (2 - 1) = 40 + 440 = 480$  тыс. руб.

**VII этап:** общие затраты 440 при оптимальном управлении равном 1. В первом квартале затраты - 30 тыс. руб. при оптимальном управлении - 1. Во втором - 250 при управлении, равном 6 ; В третьем - 70 при управлении 6 , В четвёртом 90 при управлении 3 .

### **Варианты индивидуальных заданий**

1. Разработать методом динамического программирования оптимальный план управления производственными мощностями в соответствии с постановкой задачи, приведенной в вышерассмотренном примере при следующих исходных данных.
2. Обосновать полученные результаты расчетов

#### **ВАРИАНТ 1**

| Показатель                                                                                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Распределение объема строительно-монтажных работ по кварталам года (млн.руб.)                                                   | 2        |
|                                                                                                                                 | 2        |
|                                                                                                                                 | 3        |
|                                                                                                                                 | 4        |
| Затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), C1 | 50       |
| Затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), C2                          | 70       |
| Потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объеме работ), C3                                                        | 60       |
| Затраты при организации третьей смены (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), C4                                                 | 85       |

#### **ВАРИАНТ 2**

| Показатель                                                                                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Распределение объема строительно-монтажных работ по кварталам года (млн.руб.)                                                   | 6        |
|                                                                                                                                 | 7        |
|                                                                                                                                 | 4        |
|                                                                                                                                 | 2        |
| Затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), C1 | 45       |
| Затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), C2                          | 60       |
| Потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объеме работ), C3                                                        | 50       |
| Затраты при организации третьей смены (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), C4                                                 | 80       |

#### **ВАРИАНТ 3**

| Показатель                                                                                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Распределение объема строительно-монтажных работ по кварталам года (млн.руб.)                                                   | 2        |
|                                                                                                                                 | 5        |
|                                                                                                                                 | 3        |
|                                                                                                                                 | 2        |
| Затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), C1 | 68       |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| руб. объема работ), С1                                                                                 |    |
| Затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С2 | 70 |
| Потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объеме работ), С3                               | 70 |
| Затраты при организации третьей смены (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С4                        | 90 |

#### ВАРИАНТ 4

| Показатель                                                                                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Распределение объема строительно-монтажных работ по кварталам года (млн.руб.)                                                   | 8        |
|                                                                                                                                 | 12       |
|                                                                                                                                 | 10       |
|                                                                                                                                 | 9        |
| Затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С1 | 70       |
| Затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С2                          | 75       |
| Потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объеме работ), С3                                                        | 73       |
| Затраты при организации третьей смены (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С4                                                 | 85       |

#### ВАРИАНТ 5

| Показатель                                                                                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Распределение объема строительно-монтажных работ по кварталам года (млн.руб.)                                                   | 3        |
|                                                                                                                                 | 4        |
|                                                                                                                                 | 6        |
|                                                                                                                                 | 2        |
| Затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С1 | 80       |
| Затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С2                          | 95       |
| Потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объеме работ), С3                                                        | 85       |
| Затраты при организации третьей смены (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С4                                                 | 110      |

#### ВАРИАНТ 6

| Показатель                                                                                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Распределение объема строительно-монтажных работ по кварталам года (млн.руб.)                                                   | 1        |
|                                                                                                                                 | 6        |
|                                                                                                                                 | 7        |
|                                                                                                                                 | 3        |
| Затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С1 | 30       |
| Затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С2                          | 50       |
| Потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объеме работ), С3                                                        | 40       |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| объеме работ), С3                                                               |    |
| Затраты при организации третьей смены (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С4 | 70 |

#### ВАРИАНТ 7

| Показатель                                                                                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Распределение объема строительно-монтажных работ по кварталам года (млн.руб.)                                                   | 2        |
|                                                                                                                                 | 5        |
|                                                                                                                                 | 8        |
|                                                                                                                                 | 2        |
| Затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С1 | 40       |
| Затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С2                          | 60       |
| Потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объеме работ), С3                                                        | 50       |
| Затраты при организации третьей смены (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С4                                                 | 80       |

#### ВАРИАНТ 8

| Показатель                                                                                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Распределение объема строительно-монтажных работ по кварталам года (млн.руб.)                                                   | 4        |
|                                                                                                                                 | 4        |
|                                                                                                                                 | 6        |
|                                                                                                                                 | 3        |
| Затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С1 | 60       |
| Затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С2                          | 70       |
| Потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объеме работ), С3                                                        | 50       |
| Затраты при организации третьей смены (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С4                                                 | 90       |

#### ВАРИАНТ 9

| Показатель                                                                                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Распределение объема строительно-монтажных работ по кварталам года (млн.руб.)                                                   | 3        |
|                                                                                                                                 | 4        |
|                                                                                                                                 | 6        |
|                                                                                                                                 | 1        |
| Затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С1 | 70       |
| Затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С2                          | 80       |
| Потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объеме работ), С3                                                        | 75       |
| Затраты при организации третьей смены (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С4                                                 | 85       |

## ВАРИАНТ 10

| Показатель                                                                                                                      | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Распределение объема строительно-монтажных работ по кварталам года (млн.руб.)                                                   | 5        |
|                                                                                                                                 | 4        |
|                                                                                                                                 | 5        |
|                                                                                                                                 | 6        |
| Затраты по переброске производственных мощностей с рассматриваемого объекта на другие (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С1 | 30       |
| Затраты по вводу новых производственных мощностей на объекте (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С2                          | 40       |
| Потери от простоя оборудования (тыс. руб. на млн. руб. объеме работ), С3                                                        | 35       |
| Затраты при организации третьей смены (тыс. руб. на млн. руб. объема работ), С4                                                 | 45       |

### **Практическое занятие №16. Динамическое и имитационное моделирование: особенности использования для бизнес-процессов**

**Цель:** ознакомиться с особенностями динамического и имитационного моделирования бизнес-процессов

**Организационная форма:** собеседование

**Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:**

Студент будет знать:

- общую характеристику методов динамического программирования;
- понятие имитационного моделирования.
- метод Монте-Карло как разновидность имитационного моделирования

Студент будет уметь:

- осуществлять построение и анализ динамической и имитационной модели.

**Формируемые компетенции:** ПК-1, ПК-2

**Актуальность темы:** *Метод динамического программирования* - один из наиболее мощных и широко известных математических методов современной теории управления, был предложен в конце 50-х годов американским математиком Р. Беллманом и быстро получил широкое распространение.

### ***Теоретическая часть***

Появление имитационного моделирования как нового направления в исследовании сложных процессов обусловлено развитием электронно-вычислительной техники. Имитационные модели являются особым классом математических моделей. Они существенно отличаются от оптимизационных моделей и моделей математического программирования. В реализации имитационных моделей главную роль играют такие компьютеры, которые обладают повышенным быстродействием, большой памятью, имеют совершенное программное обеспечение.

В традиционных экономико-математических моделях с помощью математического аппарата описывают взаимосвязи между входами, состояниями и выходами. Задача компьютера при использовании этих моделей состоит в том, чтобы быстро выполнить заданный алгоритм и выдать результат.

Идея имитационного моделирования состоит в том, что строят алгоритм, отображающий последовательность развития процесса внутри исследуемого объекта, а затем «проигрывают» поведение объекта на компьютере. При этом имеется в виду, что процесс функционирования реальной системы распадается на ряд процессов функционирования отдельных объектов. Эти процессы протекают одновременно или

параллельно. Задача программной имитации состоит в отображении параллельно протекающих процессов на один вычислительный процесс.

Совокупность модели, имитирующей изучаемое явление, и систему внутреннего и внешнего обеспечения называют имитационной системой.

Имитационная модель - это вычислительная процедура, формализовано описывающая изучаемый объект и имитирующая его поведение. При составлении имитационной модели нет необходимости упрощать описание явления, отбрасывать иногда даже существенные детали, чтобы использовать в расчетах известные математические методы. Для имитационного моделирования характерна имитация элементарных явлений, составляющих исследуемый процесс, с сохранением их логической структуры, последовательности протекания во времени, характера и состава информации о состоянии процесса. По своей форме модель является логико-математической.

В составе математических моделей имитационные модели делятся на статические и динамические, стохастические, дискретные и непрерывные. Отнесение задачи к одному из этих видов предъявляет определенные требования к имитационной модели. При статической имитации расчет повторяется несколько раз в различных условиях эксперимента в определенный короткий период времени.

При динамической имитации моделируется поведение системы в течение продолжительного периода времени без изменения условий. При стохастической имитации в модель включаются случайные величины с известными законами распределения. При детерминированной имитации влияние случайных факторов не учитывается.

Порядок построения имитационной модели и ее исследования включает выполнение следующих этапов:

Определение системы. На этом этапе устанавливаются ограничения, измерители эффективности системы, подлежащей изучению.

Формулирование модели. Осуществляется абстрагирование, т.е. переход от реальной системы к некоторой логической схеме.

Подготовка данных. На этом этапе отбираются данные, необходимые для построения модели, и представляются в соответствующей форме.

Трансляция модели. Трансляция предполагает описание модели на языке, приемлемом для используемого компьютера.

Оценка адекватности. Это означает повышение до приемлемого уровня степени уверенности, с которой можно судить относительно корректности выводов о реальной системе, полученных на основании обращения к модели.

Стратегическое планирование. Этап стратегического планирования включает планирование эксперимента, который должен дать необходимую информацию.

Тактическое планирование. Это определение способа поведения каждой серии испытаний, предусмотренных планом эксперимента.

Экспериментирование - процесс осуществления имитации с целью получения необходимых данных и анализа чувствительности.

Интерпретация, т.е. формулировка логических выводов по данным, полученным путем имитации.

Реализация результатов моделирования, т.е. практическое использование модели.

Документирование. На этом завершающем этапе регистрируется ход осуществления проекта и его результатов и документируется процесс создания и использования модели. Документирование тесно связано с реализацией, т.к. тщательное и полное документирование процессов разработки и экспериментирования с моделью позволяет в значительной степени увеличить срок ее жизни и вероятность успешной реализации, облегчает модификацию модели.

Среди этапов имитационного моделирования следует выделить планирование эксперимента. Отличие имитационного эксперимента от эксперимента с реальным объектом состоит в том, что имитационный эксперимент проводится с моделью реальной системы, а не с самой системой.

Для имитационного моделирования процесса его математическая модель преобразуется в специальный моделирующий алгоритм.

В имитационном моделировании сочетаются математические методы исследования с интуицией и опытом специалистов-практиков. Для такого сочетания необходимо обеспечить простоту общения специалистов с компьютерами. Это требование привело к использованию в имитационном моделировании специальных программных средств. Такие средства позволяют решать задачи имитационного моделирования даже человеку, не имеющему специальной подготовки по программированию и методам решения задач имитационного моделирования, но знающему свою узкую специальность и способному грамотно сформулировать конечную цель.

#### **Вопросы для собеседования**

1. Методы системной динамики
2. Методы агентного моделирования
3. Методы эволюционного моделирования
4. Инструментальные средства имитационного моделирования
5. Методы моделирования дискретно-событийных и динамических систем
6. Методы стохастического имитационного моделирования
7. Метод Монте-Карло как разновидность имитационного моделирования
8. Примеры имитационных моделей

#### **Практическое занятие №17-18. Моделирование СМО**

**Цель:** ознакомиться с особенностями построения моделей систем массового обслуживания

**Организационная форма:** решение типовых задач

**Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:**

Студент будет знать:

- классификацию СМО;
- основные элементы СМО;
- понятие обслуживания с ожиданием.

Студент будет уметь:

- строить модели СМО.

**Формируемые компетенции:** ПК-1, ПК-2

**Актуальность темы:** Системы массового обслуживания имеют повсеместное распространение, поэтому важно знать теоретические подходы к оптимизации такого рода систем.

#### **Теоретическая часть**

Характерным примером стохастических задач являются модели систем массового обслуживания.

Системы массового обслуживания имеют повсеместное распространение. Это телефонные сети, железнодорожные и авиационные кассы, автозаправочные станции и т. п. Основным признаком систем массового обслуживания является наличие некоторой *обслуживающей системы*, которая предназначена для осуществления действий согласно требованиям поступающих в систему *заявок*. Заявки поступают в систему случайным образом. Поскольку обслуживающая система, как правило, имеет ограниченную пропускную способность, а заявки поступают нерегулярно, то периодически создается очередь заявок в ожидании обслуживания, а иногда обслуживающая система простаивает в ожидании заявок. И то и другое в экономических системах влечет непроизводительные из-

держки (потери), поэтому при проектировании систем массового обслуживания возникает задача нахождения рациональной пропускной способности системы, при которой достигается приемлемый компромисс между издержками от простоя в очередях в ожидании выполнения заявки и простоя системы от недогрузки. Впервые задачи такого типа были решены в работах А. К. Эрланга в начале прошлого века и легли в основу «Теории массового обслуживания», которая успешно развивается в настоящее время.

Таким образом, система массового обслуживания состоит из *блока обслуживания, потока заявок и очереди* в ожидании обслуживания.

Блоки обслуживания в различных системах различаются между собой по многим показателям. Во-первых, блок обслуживания может состоять из одного или нескольких «приборов». Под прибором понимается устройство или человек, обслуживающий заявки. Например, в магазине может быть одна или несколько касс. В первом случае система называется *одноканальной*, во втором — *многоканальной*. Во-вторых, системы массового обслуживания могут быть *однофазными* и *многофазными*. В первом случае заявка обслуживается только одним прибором, во втором — последовательностью приборов. Например, касса в магазине — однофазная система, сберкасса — двухфазная, поскольку сначала клиент обслуживается контролером, а только затем получает деньги у кассира.

Вторая составляющая систем массового обслуживания — входной поток заявок. Обычно предполагают, что входной поток подчиняется некоторому вероятностному закону для длительности интервалов между двумя последовательно поступающими заявками, причем закон распределения считается не изменяющимся в течение некоторого достаточно продолжительного времени. Источник заявок — неограничен.

Третья составляющая — дисциплина очереди. Эта характеристика описывает порядок обслуживания заявок, поступающих на вход системы. Чаще всего применяется дисциплина: «первым пришел — первым обслужен». Но возможны и другие порядки обслуживания: «первым пришел — последним обслужен», случайный порядок обслуживания, обслуживание с приоритетами.

В качестве примера применения системы массового обслуживания рассмотрим задачу проектирования автозаправочной станции (АЗС).

Пусть необходимо выбрать один из нескольких вариантов строительства АЗС. Автомобили прибывают на станцию случайным образом и, если не могут быть обслужены сразу, становятся в очередь. Дисциплина очереди — «первым пришел — первым обслужен». Предположим для простоты, что во всех вариантах рассматривается только одна бензоколонка, а вариант от варианта отличается лишь ее мощностью.

Предположим, статистические наблюдения позволили получить *величину среднего количества клиентов  $\mu$* , обслуживаемых в единицу времени. Обратная величина  $1/\mu$  определяет *среднее время обслуживания одного клиента*.

Далее допускается стандартное предположение, что вероятность того, что обслуживание одного клиента, находящегося в процессе обслуживания в момент  $t$ , будет завершено в малом промежутке времени  $[t, t + \tau]$ , приблизительно равна  $\mu\tau$ , где  $\mu > 0$ . Вероятность того, что обслуживание не закончится, считается приблизительно равной  $1 - \mu\tau$ , а вероятность того, что будет закончено обслуживание двух или более клиентов, — пренебрежимо малой величиной. Тогда плотность распределения времени обслуживания имеет экспоненциальное распределение:

$$f(t) = \mu \exp(-\mu t), t > 0. \quad (1)$$

Далее, исходя из того, что клиенты прибывают на АЗС случайно, предполагается, что вероятность прибытия одного клиента за любой малый промежуток времени  $[t, t + \tau]$ , начинающийся в произвольный момент времени  $t$  и имеющий длину  $\tau$ , с точностью до пренебрежимо малых величин пропорциональна  $\tau$  с некоторым коэффициентом пропорциональности  $\lambda > 0$ . Величина  $\lambda$  интерпретируется как *среднее число клиентов*, появляющихся в АЗС за единицу времени, а обратная ей величина  $1/\lambda$  — как *среднее время появления одного клиента*. Вероятность того, что за этот промежуток времени не прибывает

ни одного клиента, считается приблизительно равной  $1 - \lambda\tau$ , а вероятность прибытия двух или более клиентов — пренебрежимо малой величиной по сравнению со значением  $\lambda\tau$ . Из выдвинутых предположений в теории вероятностей делаются следующие выводы. Во-первых, промежутки времени  $\tau$  между двумя последовательными появлениями клиентов удовлетворяют экспоненциальному распределению:

$$\varphi(t) = \lambda \exp(-\lambda t), t \geq 0. \quad (2)$$

Во-вторых, вероятность того, что за любой, уже не малый период времени  $T$  придет  $n$  клиентов, подсчитывается по формуле

$$P(n) = (\lambda T)^n \exp(-\lambda T) / n!, n=0,1,2,\dots \quad (3)$$

т. е. входной поток заявок является пуассоновским.

Отметим, что в отличие от среднего количества автомобилей, прибывающих в единицу времени на АЗС, т. е. величины  $\lambda$ , величина  $\mu$  зависит от выбранного варианта строительства АЗС. Поэтому имеет смысл рассматривать те проекты АЗС, для которых среднее время обслуживания  $1/\mu$  меньше среднего промежутка времени  $1/\lambda$  между прибытием клиентов, ибо в противном случае очередь будет постоянно расти. В том же случае, когда  $1/\mu < 1/\lambda$ , через некоторое время после начала работы система перейдет в *стационарный режим*, т. е. ее показатели не будут зависеть от времени.

Обозначив отношение  $\lambda / \mu$  через  $p$ , можно показать, что стационарный режим устанавливается при  $p < 1$ . Величину  $p$  называют *нагрузкой системы*. Тогда основные характеристики системы массового обслуживания определяются по формулам:

- коэффициент простоя системы.

$$E_1 = 1 - p, \quad (4)$$

- среднее число клиентов в системе

$$E_2 = p / (1 - p), \quad (5)$$

- средняя длина очереди

$$E_3 = p^2 / (1 - p), \quad (6)$$

- среднее время пребывания клиента в системе

$$E_4 = 1 / (\mu - \lambda), \quad (7)$$

- время пребывания клиента в очереди

$$E_5 = p / (\mu - \lambda). \quad (8)$$

На основе анализа значений приведенной системы показателей, характеризующих систему массового обслуживания, делается вывод о целесообразности выбора варианта строительства АЗС.

### Пример

Пусть для общих условий постановки задачи по проектированию АЗС известны следующие данные: средний интервал между прибытиями автомобилей составляет 4 минуты. Варианты строительства АЗС имеют следующие средние времена обслуживания автомобилей: 5 мин, 3,5 мин, 2 мин, 1 мин, 0,5 мин. Результаты расчетов по исследованию различных вариантов строительства АЗС сведены в табл. 1:

Таблица 1

| Характеристики СМО | 1     | 2       | 3     | 4     | 5       |
|--------------------|-------|---------|-------|-------|---------|
| $1/\lambda$        | 4 мин | 4 мин   | 4 мин | 4 мин | 4 мин   |
| $\lambda$          | 0,25  | 0,25    | 0,25  | 0,25  | 0,25    |
| $1/\mu$            | 5 мин | 3,5 мин | 2 мин | 1 мин | 0,5 мин |
| $\mu$              | 0,2   | 0,286   | 0,5   | 1     | 2       |
| $p$                | 1,25  | 0,875   | 0,5   | 0,25  | 0,125   |
| $E_1$              | -0,25 | 0,125   | 0,5   | 0,75  | 0,875   |
| $E_2$              | -5    | 7       | 1     | 0,333 | 0,143   |
| $E_3$              | -6,25 | 6,125   | 0,5   | 0,083 | 0,018   |

|       |     |        |   |       |       |
|-------|-----|--------|---|-------|-------|
| $E_4$ | -20 | 27,477 | 4 | 1,333 | 0,571 |
| $E_5$ | -25 | 24,305 | 2 | 0,333 | 0,071 |

Из анализа результатов расчетов следует.

Первый вариант строительства АЗС не годен из-за того, что очередь в этом случае будет расти до бесконечности.

Второй вариант хорош по показателю загруженности оборудования  $p = 0,875$  и, следовательно, малой средней доли простоя оборудования  $E_1 = 0,125$ , но при этом варианте возникают большие очереди и, следовательно, большие средние времена простоя автомобилей  $E_4 = 27$  мин 48 с.

Третий вариант приводит к тому, что оборудование в среднем половину времени простаивает, но среднее число автомобилей в системе равно только 1, а средние потери времени равны 4 мин при среднем времени обслуживания 2 мин.

В остальных вариантах очереди практически нет, но большую часть времени оборудование простаивает, поэтому эти варианты целесообразно отбросить как неэффективные.

Окончательный выбор варианта проекта АЗС, очевидно, принадлежит лицу, принимающему решение (ЛПР), но предварительная рекомендация по результатам анализа может состоять в предложении третьего варианта, если исходить из того, что наблюдается постоянная тенденция роста автомобильного парка в стране.

### Задание

Исходя из общих условий приведенного выше примера

1. Провести анализ имеющейся информации
2. Определить наиболее предпочтительные варианты строительства АЗС при исходных данных из табл. 2. Результаты расчетов представить в форме табл. 1.

Таблица 2 - Исходные данные по вариантам

| № п/п | Интервал прибытия клиентов | Варианты среднего времени обслуживания |     |      |      |     |
|-------|----------------------------|----------------------------------------|-----|------|------|-----|
|       |                            | 1                                      | 2   | 3    | 4    | 5   |
| 1     | 4                          | 6                                      | 6,5 | 5    | 3    | 2   |
| 2     | 5                          | 4                                      | 4,4 | 5,3  | 6    | 6,2 |
| 3     | 8                          | 12                                     | 10  | 8    | 7,8  | 5   |
| 4     | 6                          | 7,5                                    | 7   | 5,5  | 4    | 2   |
| 5     | 3                          | 6                                      | 5   | 4    | 3,3  | 2   |
| 6     | 2                          | 3                                      | 2,5 | 2,2  | 1,6  | 1,4 |
| 7     | 5                          | 7                                      | 6   | 4    | 3    | 2   |
| 8     | 6                          | 7,6                                    | 6,2 | 5,8  | 5,2  | 4   |
| 9     | 3                          | 4,3                                    | 2,8 | 2,9  | 3,7  | 2   |
| 10    | 5                          | 5,1                                    | 4,8 | 3,7  | 4,2  | 3,9 |
| 11    | 9                          | 10,5                                   | 8,7 | 11   | 7,5  | 6   |
| 12    | 10                         | 8,5                                    | 8,9 | 11,2 | 9,3  | 9   |
| 13    | 4                          | 3,3                                    | 2,1 | 4    | 4,1  | 3,8 |
| 14    | 7                          | 6                                      | 6,5 | 7,5  | 5,2  | 3   |
| 15    | 8                          | 7                                      | 7,5 | 8,1  | 9    | 4,5 |
| 16    | 6                          | 5                                      | 5,5 | 5,9  | 4    | 12  |
| 17    | 4                          | 4,5                                    | 3,5 | 3    | 2    | 5   |
| 18    | 8                          | 7,6                                    | 7,9 | 8,2  | 6,7  | 5   |
| 19    | 9                          | 4                                      | 6   | 7    | 8,5  | 9,2 |
| 20    | 13                         | 8,5                                    | 6,6 | 5,3  | 11,3 | 11  |
| 21    | 24                         | 27                                     | 26  | 22,3 | 22,9 | 22  |

|    |    |      |      |      |      |     |
|----|----|------|------|------|------|-----|
| 22 | 22 | 21   | 20   | 20,5 | 23   | 27  |
| 23 | 3  | 3,9  | 3,4  | 2,9  | 2,2  | 2   |
| 24 | 2  | 1,3  | 1,5  | 1,7  | 1,8  | 2,1 |
| 25 | 12 | 12,5 | 11   | 10   | 10,5 | 13  |
| 26 | 9  | 10   | 10,3 | 11   | 8,5  | 7,5 |

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### *Основная литература:*

1. Александров, Д. В. Моделирование и анализ бизнес-процессов Электронный ресурс : Учебник / Д. В. Александров. - Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2017. - 227 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-9908055-8-3
2. Цифровая трансформация и моделирование бизнес-процессов : учебное пособие / А.Н. Байдаков, О.С. Звягинцева, А.В. Назаренко, Д.В. Запорожец, О.Н. Бабкина. - Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2017. - 179 с. : ил. - <http://biblioclub.ru/>.

### *Дополнительная литература:*

1. Мамонова, В. Г. Моделирование бизнес-процессов Электронный ресурс : Учебное пособие / В. Г. Мамонова, Н. Д. Ганелина, Н. В. Мамонова. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. - 43 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-7782-2016-4
2. Силич, В. А. Моделирование и анализ бизнес-процессов Электронный ресурс : Учебное пособие / В. А. Силич, М. П. Силич. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. - 212 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-86889-511-1

### **Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине «Цифровая трансформация и моделирование бизнес-процессов» для студентов направления подготовки 38.04.02 «Менеджмент» (направленность (профиль): Бизнес-администрирование).

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины:**

#### **Интернет-ресурсы:**

- 6) Корпоративный менеджмент [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cfin.ru/>
- 7) Российский центр поддержки конкуренции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.antimonopol.centro.ru>
- 8) Сайт «Профессионал управления проектами» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pmpofy.ru/>
- 9) Стратегическое управление: информационно-аналитический журнал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pmmagazine.ru/>
- 10) Федеральный портал «Экономика. Социология. Менеджмент» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecsocman.edu.ru>

Информационно-справочные и информационно-правовые системы, используемые при изучении дисциплины:

|   |                                                                                                                                          |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | <a href="http://catalog.ncstu.ru/catalog">http://catalog.ncstu.ru/catalog</a> – Официальный сайт библиотеки ФГАОУ ВО СКФУ.               |
| 2 | <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a> - «Университетская библиотека онлайн»                                            |
| 3 | <a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a> - ЭБС «IPRbooks»                                                       |
| 4 | <a href="http://www.consultant.ru">http://www.consultant.ru</a> – Официальный сайт Консультант плюс                                      |
| 5 | <a href="https://www.garant.ru/">https://www.garant.ru/</a> – Информационно-правовой портал «Гарант»                                     |
| 6 | <a href="http://www.gks.ru">http:// www.gks.ru</a> – Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации |

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ПЯТИГОРСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) СКФУ

## **Методические указания**

для студентов по организации самостоятельной работы  
по дисциплине «ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ  
БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ»

для студентов направления подготовки

38.04.02 «Менеджмент»

Направленность (профиль):

«Бизнес-администрирование»

Форма обучения – очная

Пятигорск  
2024

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                                 | 66 |
| 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ»..... | 67 |
| 2. ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ .....                                                                                         | 69 |
| 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО НИМ .....                                                                                            | 70 |
| 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА .....                                                                            | 70 |
| 5.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ...                                                                                  | 73 |
| 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ТЕСТИРОВАНИЮ.....                                                                                     | 74 |
| 7.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ .....                                                                                         | 86 |
| 8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....                                                                                                       | 88 |

## ВВЕДЕНИЕ

С целью успешного существования в условиях современного рынка каждая организация должна заниматься улучшением своей деятельности. Функциональный подход к управлению организацией далеко не всегда является эффективным. Одним из средств координации деятельности является процессное управление, комплексное применение передовых методов и программных продуктов для управления бизнес-процессами. Управлять процессами в системе менеджмента – это значит прилагать определенные усилия воздействия на процесс для достижения им определенных целей. Моделирование, анализ и оптимизация бизнес-процессов дает возможность совершенствовать деятельность организации в целом и на рабочих местах, а также способствует более эффективному взаимодействию с внешней средой. На многих предприятиях во всем мире осуществляется переход от функциональной организации производства к процессной.

Целью освоения дисциплины «Цифровая трансформация и моделирование бизнес-процессов» является формирование теоретических знаний, практических умений, навыков и компетенций в области моделирования бизнес-процессов и бизнес-систем, овладение системным представлением о технологии моделирования бизнеса, понимание сущности моделирования бизнеса на основе использования современных информационных технологий.

Задачи освоения дисциплины:

1. освоение теоретических аспектов и методических приёмов моделирования бизнеса; сущности и структуры объектов моделирования; этапов процесса моделирования, способов оценки эффективности бизнеса; существующих методов оптимизации бизнес-процессов и бизнес-систем;
2. овладение методами моделирования бизнес-процессов;
3. приобретение опыта проведения предпроектного обследования объекта проектирования, системного анализа предметной области;
4. приобретение опыта использования современных инструментальных программных средств для решения задач моделирования бизнес-процессов и бизнес-систем.

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины «Цифровая трансформация и моделирование бизнес-процессов» предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- подготовка к тестированию;
- выполнение контрольной работы.

**Цель самостоятельного изучения литературы** – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

**Задачами** самостоятельного изучения литературы являются:

2. углубление и расширение теоретических знаний;
3. формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
4. развитие познавательных способностей и активности студентов.

**Цель самостоятельного решения задач** - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

**Задачами** самостоятельного решения задач являются:

5. систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
6. формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
7. развитие исследовательских умений.

**Цель самостоятельной подготовки к тестированию** – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности, позволяющее оценить знание

фактического материала, умение логически мыслить, способность к рефлексии и творчески подходить к решению поставленной задачи

**Задачами** самостоятельной подготовки к тестированию:

8. углубление и расширение теоретических знаний;

9. формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;

10. развитие познавательных способностей и активности студентов.

**Целью самостоятельного выполнения контрольной работы** по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

**Задачами** данного вида самостоятельной работы студента являются:

систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;

углубление и расширение теоретических знаний;

формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;

развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

развитие исследовательских умений;

использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсового проекта.

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Код, формулировка компетенции                                                                                                    | Код, формулировка индикатора                                                                                                                   | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | ИД-1. УК-1. Анализирует проблемную ситуацию как целостную систему, выявляя ее составляющие и связи между ними                                  | Представляет бизнес-процесс, как систему, выявляя его основные компоненты, связи и факторы воздействия                             |
|                                                                                                                                  | ИД-2. УК-1. Разрабатывает варианты решения проблемной ситуации на основе критического анализа доступных источников информации                  | Использует цифровые технологии для сбора и анализа информации, формирует альтернативные варианты моделирования бизнес-процесса     |
|                                                                                                                                  | ИД-3. УК-1. Вырабатывает стратегию действий для решения проблемной ситуации в виде последовательности шагов, предвидя результат каждого из них | Составляет алгоритм действий при сетевом планировании, имитационном моделировании и динамическом программировании бизнес-процессов |
| ПК-1 Способен проек-                                                                                                             | ИД-1. ПК-1. Самостоятельно                                                                                                                     | Формулирует целевую функ-                                                                                                          |

|                                                                                                        |                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| тировать и разрабатывать программу внедрения системы процессного управления организации                | оценивает состояние системы процессного управления организации и ее соответствие требованиям и целевым показателям организации                                                        | цию, определяет систему ограничений при составлении модели бизнес-процесса                                                                              |
|                                                                                                        | ИД-2. ПК-1. Проводит анализ и разрабатывает варианты построения системы процессного управления организации для целей ее проектирования, усовершенствования и внедрения                | Использует количественные и качественные методы системного анализа для проведения прикладных исследований, моделирования и управления бизнес-процессами |
| ПК-2. Способен проектировать и определять направления трансформации процессной архитектуры организации | ИД-1. ПК-2. Осуществляет сбор и производит анализ информации о соответствии существующей процессной архитектуры организации структуре бизнеса, целям и стратегии развития организации | Идентифицирует и классифицирует бизнес-процессы для представления архитектуры процессов в виде моделей                                                  |
|                                                                                                        | ИД-2. ПК-2. Выявляет возможности усовершенствования процессной архитектуры организации.                                                                                               | Выбирает оптимальные решения при определении архитектуры бизнес-процесса                                                                                |

## 2. ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Технологическая карта самостоятельной работы студента (очная форма)

| Технологическая карта самостоятельной работы студента (6-й этап формирования) |                                     |                                          |                          |                                    |       |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
| Код реализуемых компетенций                                                   | Вид деятельности студентов          | Средства и технологии оценки             | Объем часов, в том числе |                                    |       |
|                                                                               |                                     |                                          | СРС                      | Контактная работа с преподавателем | Всего |
| 3 семестр                                                                     |                                     |                                          |                          |                                    |       |
| УК-1<br>ПК-1<br>ПК-2                                                          | Самостоятельное изучение литературы | Собеседование                            | 1,8                      | 0,2                                | 2     |
|                                                                               | Самостоятельное решение задач       | Письменный отчет о решении типовых задач | 1,8                      | 0,2                                | 2     |
|                                                                               | Выполнение контрольной работы       | Защита контрольной работы                | 2,7                      | 0,3                                | 3     |
|                                                                               | Подготовка к тестированию           | Тестирование                             | 1,8                      | 0,2                                | 2     |
| Итого                                                                         |                                     |                                          | 8,1                      | 0,9                                | 9     |
| УК-1<br>ПК-1<br>ПК-2                                                          | Подготовка к экзамену               | Вопросы к экзамену                       | 40                       | 4,5                                | 45    |

### Технологическая карта самостоятельной работы студента (заочная форма)

| Код реализуемых компетенций | Вид деятельности студентов          | Средства и технологии оценки             | Объем часов, в том числе |                                    |       |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
|                             |                                     |                                          | СРС                      | Контактная работа с преподавателем | Всего |
| 3 семестр                   |                                     |                                          |                          |                                    |       |
| УК-1<br>ПК-1<br>ПК-2        | Самостоятельное изучение литературы | Собеседование                            | 22,5                     | 2,5                                | 25    |
|                             | Самостоятельное решение задач       | Письменный отчет о решении типовых задач | 6,3                      | 0,7                                | 7     |
| Итого за 3 семестр          |                                     |                                          | 28,8                     | 3,2                                | 32    |
| 4 семестр                   |                                     |                                          |                          |                                    |       |
| УК-1<br>ПК-1<br>ПК-2        | Самостоятельное изучение литературы | Собеседование                            | 25,2                     | 2,8                                | 28    |
|                             | Самостоятельное решение задач       | Письменный отчет о решении типовых задач | 6,3                      | 0,7                                | 7     |
|                             | Выполнение контрольной работы       | Защита контрольной работы                | 18,0                     | 2,0                                | 20    |
|                             | Подготовка к тестированию           | Тестирование                             | 6,3                      | 0,7                                | 7     |
| Итого за 4 семестр          |                                     |                                          | 53,1                     | 5,9                                | 59    |
| Итого                       |                                     |                                          |                          |                                    |       |
| УК-1<br>ПК-1<br>ПК-2        | Подготовка к экзамену               | Вопросы к экзамену                       | 8,1                      | 0,9                                | 9     |

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО НИМ

Рейтинговая оценка знаний студента программы магистратуры не предусмотрена.

### 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развер-

нутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

### **Составление конспектов**

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

#### **Тема самостоятельного изучения № 1**

**«Основы моделирования бизнес-процессов. Бизнес-процесс и его компоненты»**

**Вид деятельности студентов:** самостоятельное изучение литературы, использование интерактивных учебных курсов

**Итоговый продукт самостоятельной работы:** конспект

**Средства и технологии оценки:** собеседование

**План конспекта:**

5. Соотношение функционального и процессного подходов.
6. Отражение процессного подхода в международных стандартах.
7. Определение ресурсного окружения бизнес-процесса.
8. Документирование бизнес-процесса.
9. Определение ключевых показателей результативности бизнес-процесса.
10. Расстановка контрольных точек для измерений.
11. Мониторинг бизнес-процесса

**Работа с литературой:**

| Рекомендуемые источники информации (№ источника) |                |              |                  |
|--------------------------------------------------|----------------|--------------|------------------|
| Основная                                         | Дополнительная | Методическая | Интернет-ресурсы |
| 1,2                                              | 1,2            | 1            | 1-5              |

#### **Тема самостоятельного изучения № 3**

**«Методы оптимизации бизнес-процессов»**

**Вид деятельности студентов:** самостоятельное изучение литературы, использование интерактивных учебных курсов

**Итоговый продукт самостоятельной работы:** конспект

**Средства и технологии оценки:** собеседование

**План конспекта:**

3. Межотраслевой баланс производства и распределения продукции

**Работа с литературой:**

| Рекомендуемые источники информации (№ источника) |                |              |                  |
|--------------------------------------------------|----------------|--------------|------------------|
| Основная                                         | Дополнительная | Методическая | Интернет-ресурсы |
| 1,2                                              | 1,2            | 1            | 1-5              |

#### **Тема самостоятельного изучения № 4**

**«Сетевые методы планирования и управления бизнес-процессами»**

**Вид деятельности студентов:** самостоятельное изучение литературы, использование интерактивных учебных курсов

**Итоговый продукт самостоятельной работы:** конспект

**Средства и технологии оценки:** собеседование

**План конспекта:**

1. Сетевое планирование в условиях неопределенности

**Работа с литературой:**

| Рекомендуемые источники информации (№ источника) |                |              |                  |
|--------------------------------------------------|----------------|--------------|------------------|
| Основная                                         | Дополнительная | Методическая | Интернет-ресурсы |
| 1,2                                              | 1,2            | 1            | 1-5              |

#### Тема самостоятельного изучения № 5

*«Динамическое программирование и имитационное моделирование бизнес-процессов»*

**Вид деятельности студентов:** самостоятельное изучение литературы, использование интерактивных учебных курсов

**Итоговый продукт самостоятельной работы:** конспект

**Средства и технологии оценки:** собеседование

**План конспекта:**

Метод Монте-Карло как разновидность имитационного моделирования

**Работа с литературой:**

| Рекомендуемые источники информации (№ источника) |                |              |                  |
|--------------------------------------------------|----------------|--------------|------------------|
| Основная                                         | Дополнительная | Методическая | Интернет-ресурсы |
| 1,2                                              | 1,2            | 1            | 1-5              |

#### Тема самостоятельного изучения № 6

*«Производственные функции»*

**Вид деятельности студентов:** самостоятельное изучение литературы, использование интерактивных учебных курсов

**Итоговый продукт самостоятельной работы:** конспект

**Средства и технологии оценки:** собеседование

**План конспекта:**

1. Виды моделей производственных функций

**Работа с литературой:**

| Рекомендуемые источники информации (№ источника) |                |              |                  |
|--------------------------------------------------|----------------|--------------|------------------|
| Основная                                         | Дополнительная | Методическая | Интернет-ресурсы |
| 1,2                                              | 1,2            | 1            | 1-5              |

#### Тема самостоятельного изучения № 7

*«Моделирование систем массового обслуживания»*

**Вид деятельности студентов:** самостоятельное изучение литературы, использование интерактивных учебных курсов

**Итоговый продукт самостоятельной работы:** конспект

**Средства и технологии оценки:** собеседование

**План конспекта:**

Обслуживание с ожиданием

**Работа с литературой:**

| Рекомендуемые источники информации (№ источника) |                |              |                  |
|--------------------------------------------------|----------------|--------------|------------------|
| Основная                                         | Дополнительная | Методическая | Интернет-ресурсы |
| 1,2                                              | 1,2            | 1            | 1-5              |

### 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ РЕШЕНИЮ

#### ЗАДАЧ

По следующим темам на практических занятиях выполняются типовые задачи в соответствии с рабочей программой дисциплины. Отдельные задания по этим задачам выполняются студентом самостоятельно.

| № темы | Название темы                                                               | Название задачи                                                                                | Номер задания, выносимого на самостоятельную проработку |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 4      | Динамическое программирование и имитационное моделирование бизнес-процессов | Построение динамической модели управления производственной мощностью ( <i>типовая задача</i> ) | №2. Обосновать полученные результаты расчетов           |

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ТЕСТИРОВАНИЮ

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответ на имеющиеся эталоны ответов.

При самостоятельной подготовке к тестированию студенту необходимо:

а) готовясь к тестированию, проработайте информационный материал по дисциплине. Проконсультируйтесь с преподавателем по вопросу выбора учебной литературы;

б) четко выясните все условия тестирования заранее. Вы должны знать, сколько тестов Вам будет предложено, сколько времени отводится на тестирование, какова система оценки результатов и т.д.

в) приступая к работе с тестами, внимательно и до конца прочтите вопрос и предлагаемые варианты ответов. Выберите правильные (их может быть несколько). На отдельном листке ответов выпишите цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам;

г) в процессе решения желательно применять несколько подходов в решении задания. Это позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант.

д) если Вы встретили чрезвычайно трудный для Вас вопрос, не тратьте много времени на него. Переходите к другим тестам. Вернитесь к трудному вопросу в конце.

е) обязательно оставьте время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Тестирование - позволяет оценить знание фактического материала, умение логически мыслить, способность к рефлексии и творчески подходить к решению поставленной задачи.

При проверке знаний, умений, качества овладения компетенциями используются две группы тестов: а) тесты специальных способностей и достижений (задания с несколькими вариантами выбора). в) тесты со свободными ответами (предполагают элементы творчества и личностного самовыражения, проявляют сверх нормативные

## 7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 7.1 Цель, задачи и реализуемые компетенции

Целью выполнения контрольной работы по дисциплине «Моделирование в управлении предпринимательской деятельностью» для студентов направления подготовки 38.03.02 «Менеджмент» является закрепление теоретических знаний студентов по дисциплине и выработка навыков решать конкретные практические и теоретические задачи.

*Задачи выполнения контрольной работы:*

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

- развитие исследовательских умений.

## 7.2. Формулировка задания и его объем

Выполняемая в соответствии с учебным планом контрольная работа по дисциплине «Моделирование в управлении предпринимательской деятельностью» состоит из двух частей - теоретической и практической, включающей решение четырех задач.

Выбор индивидуального домашнего задания по вариантам определяется последней цифры зачетной книжки студента.

### ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

#### Вариант 1

1. Сущность и классификация математических моделей

2. Решить задачу линейного программирования графическим методом:

$$\begin{cases} Z = x_1 + x_2 \rightarrow \max \\ -2x_1 + 3x_2 \leq 6, \\ x_1 - x_2 \leq 2, \\ x_1 \leq 3, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

3. Составить двойственную задачу по отношению к данной. Найти оптимальное решение симплексным методом для одной из них.

$$\begin{cases} Z = x_1 + x_2 - 2x_3 - 3 \rightarrow \max \\ 3x_1 - 2x_3 \leq 2, \\ x_1 + 2x_2 - x_3 \leq 1, \\ 2x_1 + x_2 + x_3 \leq 15, \\ x_j \geq 0 \end{cases}$$

4. Найти оптимальный план для следующей транспортной задачи:

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 7     | 8     | 1     | 3     | 110        |
| $A_2$      | 2     | 4     | 5     | 9     | 110        |
| $A_3$      | 6     | 3     | 5     | 2     | 80         |
| $\sum b_j$ | 50    | 90    | 90    | 70    |            |

5. Предприятие химической промышленности в соответствии с полученным гос. заказом должно выпустить удобрения для сельского хозяйства 4 наименований в следующем объеме: удобрение А – 1000 т, удобрение Б – 2000 т, удобрение В – 1500 т, удобрение Г – 1500 т. Годовой объем реализованной продукции должен составлять не менее 4 млн. руб.

От сельскохозяйственных предприятий поступили заявки на поставку удобрений в следующем объеме: по удобрению А – 1100 т, по удобрению Б – 2100 т, по удобрению В – 2000 т, по удобрению Г – 1800 т.

Годовой фонд времени работы оборудования составляет:

- по оборудованию 1 группы – 56000 часов;
- по оборудованию 2 группы – 139000 часов.

Годовой лимит одного из главнейших видов сырья, входящего во все удобрения, составляет 7000 т, а остальное сырье не лимитируется.

Норма затрат производственных ресурсов для изготовления различных удобрений, себестоимость их производства и оптовая цена реализации приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

| Ресурсы и стоимостные показатели | Ед. изм. | Выпускаемые удобрения |    |    |    |
|----------------------------------|----------|-----------------------|----|----|----|
|                                  |          | А*                    | Б* | В  | Г  |
| Оборудование 1 группы            | час /т   | 5                     | 10 | 8  | 10 |
| Оборудование 2 группы            | час /т   | 20                    | 10 | 12 | 10 |

|                |        |     |     |     |     |
|----------------|--------|-----|-----|-----|-----|
| Основное сырье | т/т    | 0,8 | 1,2 | 1   | 1,4 |
| Себестоимость  | руб./т | 460 | 540 | 650 | 740 |
| Оптовая цена   | руб./т | 500 | 600 | 700 | 800 |

Звездочкой отмечены удобрения высшей категории качества

Составить оптимальный план производственной программы выпуска различных удобрений при условии получения предприятием максимальной прибыли, выпуска удобрений высшей категории качества не менее 40% от общего их объема и затрат на рубль товарной продукции не более – 0,93.

### Вариант 2

1. Модель оперативно-календарного планирования
2. Решить задачу линейного программирования графическим методом

$$Z = x_1 - x_2 \rightarrow \max$$

$$3x_1 + 2x_2 \leq 6,$$

$$x_1 + 2x_2 \geq 2,$$

$$x_2 \leq 2,$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$$

3. Составить двойственную задачу по отношению к данной. Найти оптимальное решение симплексным методом для одной из них.

$$Z = x_1 + x_2 - 3x_3 - 2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 4x_1 - 3x_3 \leq 3, \\ x_1 + 2x_2 - x_3 \leq 1, \\ 3x_1 + 2x_2 + 2x_3 \leq 15, \\ x_j \geq 0 \end{cases}$$

4. Найти оптимальный план для следующей транспортной задачи:

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 2     | 2     | 3     | 4     | 60         |
| $A_2$      | 6     | 4     | 3     | 1     | 80         |
| $A_3$      | 1     | 2     | 2     | 1     | 100        |
| $\sum b_j$ | 40    | 60    | 80    | 60    |            |

5. Цементный завод получил государственный заказ от Министерства промышленности стройматериалов произвести в течение года цемента марки «300» - 10000 тн, марки «400» - 120000 тн, марки «500» - 150000 тн, марки «600» - 160000 тн. При аттестации цемент последних двух марок удостоен высшей категории качества.

С различных строек на завод поступили заявки на производство и поставку цемента в следующем объеме и ассортименте:

Марки «100» - 80000 тн, марки «200» - 80000 тн, марки «300» - 120000 тн, марки «400» - 120000 тн, марки «500» - 180000 тн, марки «600» - 200000 тн.

Для производства цемента завод снабжается двумя видами лимитируемого сырья. Предельное значение поставки сырья «А» составляет 520000 тн, а сырья «Б» - 500000 тн.

Годовой фонд времени работы дробильного оборудования составляет 52100 часов, а цементных печей – 19000 часов.

Затраты производственных ресурсов на единицу изготавливаемого цемента каждой марки, а также себестоимость производства и оптовая цена реализации продукции приводятся в таблице 2.1:

Таблица 2.1

| Ресурсы и стоимостные показатели | Ед. изм. | Марки производимого цемента |     |     |     |     |     |
|----------------------------------|----------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                  |          | 100                         | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
| Сырье А                          | т/т      | 0,5                         | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 |

|                         |       |           |       |      |       |      |      |
|-------------------------|-------|-----------|-------|------|-------|------|------|
| Сырье Б                 | т/т   | 0,4       | 0,5   | 0,6  | 0,7   | 0,8  | 1,0  |
| Дробильное оборудование | час/т | 0,05      | 0,06  | 0,07 | 0,08  | 0,09 | 0,1  |
| Цементные печи          | час/т | 0,01<br>5 | 0,016 | 0,02 | 0,025 | 0,03 | 0,04 |
| Себестоимость           | руб/т | 2,0       | 2,2   | 2,5  | 3,0   | 4,0  | 5,0  |
| Оптовая цена            | руб/т | 2,5       | 2,8   | 3,2  | 3,6   | 4,8  | 6,0  |

Предложить оптимальную производственную программу изготовления цемента по объему и ассортименту, если реализация продукции должна составлять не менее 2,5 млн. руб., удельный вес продукции высшей категории качества – 65%, затраты на рубль товарной продукции – не менее 0,83 руб., а прибыль должна достичь максимально возможного значения.

### Вариант 3

1. Имитационное моделирование

2. Решить задачу линейного программирования графическим методом

$$Z = 2x_1 - 2x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \geq -12, \\ x_1 + x_2 \leq 4, \quad x_1 \leq 6. \end{cases}$$

3. Составить двойственную задачу по отношению к данной. Найти оптимальное решение симплексным методом для одной из них.

$$Z = 2x_1 + x_2 - 3x_3 - 1 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} -2x_1 + 5x_3 \leq 0, \\ 2x_1 + 3x_2 - 4x_3 \leq 1, \\ 3x_1 + 2x_2 + 2x_3 \leq 16, \\ x_j \geq 0 \end{cases}$$

4. Найти оптимальный план для следующей транспортной задачи:

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 10    | 3     | 5     | 8     | 12         |
| $A_2$      | 5     | 7     | 6     | 4     | 5          |
| $A_3$      | 1     | 4     | 3     | 7     | 18         |
| $\sum b_j$ | 10    | 11    | 8     | 6     |            |

5. Машиностроительный завод выпускает три типа редукторов – шестеренчатые, червячные и фрикционные. Годовой государственный заказ на производство редукторов составляет:

- по шестеренчатым – 10000 штук;
- по червячным – 12000 штук;
- по фрикционным – 8000 штук.

Завод получил заявки от потребителей на производство 16000 шестеренчатых, 12000 червячных и 8000 фрикционных редукторов.

Обработка и изготовление редукторов производится на оборудовании шести групп (табл. 3.1):

Таблица 3.1

| Оборудование | Норма на производство редуктора |           |             | Полезный годовой фонд, час. |
|--------------|---------------------------------|-----------|-------------|-----------------------------|
|              | шестеренчатые                   | червячные | фрикционные |                             |
| Токарное     | 2                               | 6         | 4           | 140000                      |
| Фрезерное    | 1                               | 2         | 1           | 54000                       |
| Зуборезное   | 2                               | 4         | 1           | 100000                      |
| Строгальное  | 1                               | 1         | 2           | 42000                       |

|              |   |   |   |        |
|--------------|---|---|---|--------|
| Сверлильное  | 1 | 2 | 2 | 52000  |
| Шлифовальное | 2 | 3 | 4 | 100000 |

Оптовая цена шестеренчатого редуктора составляет 100 рублей, червячного – 120 рублей, фрикционного - 150 рублей.

Определить производственную мощность предприятия и плановый коэффициент ее использования, если ведущим является шлифовальное оборудование, а плановая величина объема реализации составляет 3,73 млн. рублей.

#### Вариант 4

1. Производственные функции

2. Решить задачу линейного программирования графическим методом

$$Z = 3x_1 + 3x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} -2x_1 + 3x_2 \leq 3, \\ x_1 - x_2 \leq 1, \\ x_1 \leq 1.5. \end{cases}$$

3. Составить двойственную задачу по отношению к данной. Найти оптимальное решение симплексным методом для одной из них.

$$Z = 5x_1 - 3x_2 - 4x_3 + 1 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} x_1 - x_2 + x_3 \leq 1, \\ x_1 + 3x_3 \leq 8, \\ -2x_1 + 3x_2 + x_3 \leq 1, \\ x_j \geq 0 \end{cases}$$

4. Найти оптимальный план для следующей транспортной задачи:

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 2     | 4     | 5     | 1     | 60         |
| $A_2$      | 2     | 3     | 9     | 4     | 70         |
| $A_3$      | 3     | 4     | 2     | 5     | 20         |
| $\sum b_j$ | 40    | 30    | 30    | 50    |            |

5. Для производства химического красителя, в состав которого входят три элемента – А, Б и В, можно использовать четыре различных вида сырья, как отдельно друг от друга, так и совместно в любой пропорции. Соотношение отдельных элементов в готовом красителе будет следующим: А:Б:В=1 : 4 : 5.

Составить оптимальную рецептуру использования сырья для производства красителя, если известно, что излишки какого-либо элемента в реакцию не вступают, но извлекаются с помощью специальных фильтров и могут быть реализованы на сторону как отходы основного производства.

Данные о составе сырья, его стоимости и стоимости реализуемых отходов приведены в таблице 4.1:

Таблица 4.1

| Сырье                     | Содержание элементов, % |     |     | Стоимость сырья, руб/кг |
|---------------------------|-------------------------|-----|-----|-------------------------|
|                           | А                       | Б   | В   |                         |
| 1                         | -                       | 20  | 80  | 1,5                     |
| 2                         | 40                      | 60  | -   | 1                       |
| 3                         | 20                      | 20  | 60  | 1,2                     |
| 4                         | 20                      | 30  | 50  | 0,8                     |
| Стоимость отходов, руб/кг | 0,4                     | 0,3 | 0,2 | -                       |

Определить годовой экономический эффект от применения оптимальной рецептуры сырья при годовом производстве красителя 100 т и срок окупаемости капитальных затрат на установку специальных фильтров, если известно, что затраты на сырье при применявшейся ранее рецептуре составляли 120 000 руб. в год, а фильтрующая установка обошлась предприятию в 10 000 руб.

### Вариант 5

1. Модель межотраслевого баланса (МОБ)

2. Решить задачу линейного программирования графическим методом

$$\begin{cases} Z=2x_1+2x_2 \rightarrow \max \\ -2x_1+3x_2 \leq 12, \\ x_1-x_2 \leq 4, \\ x_1 \leq 6, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

3. Составить двойственную задачу по отношению к данной. Найти оптимальное решение симплексным методом для одной из них.

$$Z = 4x_1 + x_2 - x_3 - 1 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 2x_1 - x_2 + x_3 \leq 1, \\ -3x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 2, \\ 2x_1 + x_3 \leq 7, \\ x_j \geq 0 \end{cases}$$

4. Найти оптимальный план для следующей транспортной задачи:

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 1     | 3     | 2     | 1     | 300        |
| $A_2$      | 2     | 2     | 3     | 1     | 400        |
| $A_3$      | 3     | 1     | 1     | 2     | 500        |
| $\sum b_j$ | 100   | 300   | 400   | 400   |            |

5. В механическом цехе производится изготовление двух изделий. В соответствии с программой в течение квартала необходимо отправить потребителям 4000 первых и 8000 вторых изделий.

При этом поставка изделий по месяцам квартала должна составить:

Таблица 5.1

| № изделия | 1 месяц | 2 месяц | 3 месяц | 4 месяц |
|-----------|---------|---------|---------|---------|
| 1         | 1000    | 2000    | 1000    | 4000    |
| 2         | 2000    | 3000    | 3000    | 8000    |

На начало квартального периода в цехе имелось 500 первых готовых изделий и 800 вторых. На конец периода требуется обеспечить соответственно 700 и 400 готовых изделий. Себестоимость каждого из этих изделий составляет 10 рублей.

Обработка и изготовление изделий осуществляется с помощью оборудования трех групп. Располагаемый фонд рабочего времени оборудования (час.) по месяцам квартала приводится в таблице 5.2:

Таблица 5.2

| Месяцы квартала | Оборудование |        |         |
|-----------------|--------------|--------|---------|
|                 | I гр.        | II гр. | III гр. |

|   |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|
| 1 | 50000 | 60000 | 42000 |
| 2 | 65000 | 60000 | 55000 |
| 3 | 60000 | 65000 | 52000 |

Затраты станочного времени на изготовление изделия по каждой группе оборудования (час./изд.) составляет:

Таблица 5.3

| № изделия | Оборудование |        |         |
|-----------|--------------|--------|---------|
|           | I гр.        | II гр. | III гр. |
| 1         | 20           | 10     | 15      |
| 2         | 10           | 15     | 10      |

Требуется составить план производства изделий по месяцам квартала с точным расчетом, чтобы удовлетворить потребность потребителя и обеспечить минимальную величину остатков готовой продукции за весь плановый период.

### Вариант 6

1. Сетевое планирование и управление (СПУ)

2. Решить задачу линейного программирования графическим методом

$$Z = 3x_1 - 3x_2 \rightarrow \max$$

$$2x_1 + 3x_2 \geq -3,$$

$$x_1 + x_2 \leq 1,$$

$$x_1 \leq 1.5.$$

3. Составить двойственную задачу по отношению к данной. Найти оптимальное решение симплексным методом для одной из них.

$$Z = 4x_1 + 6x_2 + 3x_3 - 11 \rightarrow \max$$

$$x_1 + x_2 \leq 10,$$

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

$$3x_2 - 2x_3 \leq 9,$$

$$x_j \geq 0$$

4. Найти оптимальный план для следующей транспортной задачи:

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 2     | 3     | 5     | 6     | 160        |
| $A_2$      | 9     | 4     | 5     | 2     | 220        |
| $A_3$      | 3     | 8     | 1     | 7     | 220        |
| $\sum b_j$ | 140   | 180   | 180   | 100   |            |

5. Предприятие химической промышленности производит катализатор, ускоряющий производство синтетических смол. В состав катализатора входят три элемента в следующей пропорции: элемент А – 20%, элемент Б – 30%, элемент В – 50%. Для получения катализатора можно использовать четыре различных вида сырья как отдельно друг от друга, так и совместно в любой пропорции.

Составить оптимальную рецептуру использования сырья для производства катализатора, если известно, что излишки какого-либо элемента в реакцию не вступают и безвозвратно теряются как отходы производства.

Данные о стоимости сырья и его составе приводятся в таблице:

Таблица 6.1

| Сырье | Содержание элементов, % |    |    | Стоимость сырья, руб./кг |
|-------|-------------------------|----|----|--------------------------|
|       | А                       | Б  | В  |                          |
| 1     | 30                      | 30 | 40 | 1                        |

|   |    |    |    |     |
|---|----|----|----|-----|
| 2 | 20 | 50 | 30 | 1,2 |
| 3 | 50 | 20 | 30 | 0,8 |
| 4 | 10 | 40 | 50 | 1   |

Определить годовой экономический эффект от применения оптимальной рецептуры смеси при годовом объеме производства катализатора 100 т, если известно, что затраты на сырье по применявшейся ранее рецептуре составляли 130 тыс. руб. в год.

### Вариант 7

1. Теория массового обслуживания

2. Решить задачу линейного программирования графическим методом

$$Z = x_1 + x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \geq 2, \\ -2x_1 + x_2 \geq 2, \\ x_1 - x_2 \geq 2. \end{cases}$$

3. Составить двойственную задачу по отношению к данной. Найти оптимальное решение симплексным методом для одной из них.

$$Z = x_1 + x_2 + 2x_3 - 1 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 4x_1 + x_2 - x_3 \leq 5, \\ -2x_1 + 3x_2 + x_3 \leq 3, \\ 2x_1 + 5x_2 - x_3 \leq 5, \\ x_j \geq 0 \end{cases}$$

4. Найти оптимальный план для следующей транспортной задачи:

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 1     | 22    | 2     | 1     | 200        |
| $A_2$      | 1     | 4     | 3     | 6     | 160        |
| $A_3$      | 4     | 2     | 3     | 2     | 120        |
| $\sum b_j$ | 120   | 120   | 160   | 80    |            |

5. Для производства химического красителя, в состав которого входят три элемента А, Б и В, можно использовать четыре различных вида сырья как отдельно друг от друга, так и совместно в любой пропорции. Соотношение отдельных элементов в готовом красителе будет следующим: А:Б:В=1:4:5.

Составить оптимальную рецептуру использования сырья для производства красителя, если известно, что излишки какого-либо элемента в реакцию не вступают, но извлекаются с помощью специальных фильтров и могут быть реализованы на сторону как отходы основного производства.

Данные о составе сырья, его стоимости и стоимости реализуемых отходов приводятся в таблице 7.1:

Таблица 7.1

| Сырье                      | Содержание элементов, % |     |     | Стоимость сырья, руб./кг |
|----------------------------|-------------------------|-----|-----|--------------------------|
|                            | А                       | Б   | В   |                          |
| 1                          | -                       | 20  | 80  | 1,5                      |
| 2                          | 40                      | 60  | -   | 1                        |
| 3                          | 20                      | 20  | 60  | 1,2                      |
| 4                          | 20                      | 30  | 50  | 0,8                      |
| Стоимость отходов, руб./кг | 0,4                     | 0,3 | 0,2 | -                        |

Определить годовой экономический эффект от применения оптимальной рецептуры сырья при годовом производстве красителя 100 т и срок окупаемости капитальных затрат на установку специальных фильтров, если известно, что затраты на сырье по приме-

нявшейся ранее рецептуре составляли 120 тыс. руб. в год, а фильтрующая установка обошлась предприятию в 10 тыс. руб.

### Вариант 8

1. Модель оптимизации производственной программы
2. Решить задачу линейного программирования графическим методом

$$Z = 4x_1 + x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} x_1 - x_2 \leq 4, \\ -4x_1 - x_2 \leq 4, \\ x_1 + x_2 \geq 4. \end{cases}$$

3. Составить двойственную задачу по отношению к данной. Найти оптимальное решение симплексным методом для одной из них.

$$Z = 16x_1 + 14x_2 + 16x_3 - 1 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 2x_1 + x_3 \leq 1, \\ 2x_1 + 3x_2 + 2x_3 \leq 3, \\ x_1 + 2x_3 \leq 4, \\ x_j \geq 0 \end{cases}$$

4. Найти оптимальный план для следующей транспортной задачи:

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 7     | 4     | 3     | 1     | 160        |
| $A_2$      | 4     | 7     | 6     | 5     | 220        |
| $A_3$      | 8     | 3     | 5     | 10    | 220        |
| $\sum b_j$ | 160   | 110   | 230   | 100   |            |

5. В соответствии с годовой программой объем производства химического реактива должен составлять 50000 т. по данным технических условий реактив должен иметь следующий химический состав:

Таблица 8.1

| Содержание элементов | Б  | В  | Г  | Д  |
|----------------------|----|----|----|----|
| Нижний предел (%)    | 10 | 18 | 30 | 14 |
| Верхний предел (%)   | 13 | 25 | 34 | 20 |

При этом удельный вес контролируемых элементов (Б,В,Г,Д) в готовом реактиве должен составлять 85%.

При изготовлении реактива могут быть использованы в любой пропорции пять различных видов сырья. Их химический состав и стоимость приводятся в таблице 8.2:

Таблица 8.2

| Сырье | Содержание элементов, % |    |    |    |    |    | Стоимость сырья, руб./кг |
|-------|-------------------------|----|----|----|----|----|--------------------------|
|       | А                       | Б  | В  | Г  | Д  | Е  |                          |
| 1     | 15                      | 15 | 15 | 15 | 20 | 20 | 3,5                      |
| 2     | 40                      | -  | -  | 50 | 10 | -  | 3,8                      |
| 3     | 20                      | 30 | 30 | -  | -  | 20 | 3,3                      |
| 4     | -                       | 8  | 12 | 30 | -  | 50 | 3,1                      |
| 5     | 6                       | 24 | 20 | 18 | 32 | -  | 3,4                      |

Составить оптимальную рецептуру используемого для производства реактива сырья, определить его годовой расход по видам и годовые затраты на сырье в целом. Каков будет экономический эффект от внедрения оптимальной рецептуры, если по ранее применявшейся технологии затраты на сырье, приходящиеся на одну тонну готового реактива, составляли 5500 руб./т? Установить, каковы будут отходы производства.

### Вариант 9

1. Модель оптимизации производственных запасов
2. Решить задачу линейного программирования графическим методом

$$\begin{cases} Z = 4x_1 + x_2 \rightarrow \max \\ x_1 + 2x_2 \leq 5, \\ x_1 \leq 3, \\ x_2 \leq 2, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

3. Составить двойственную задачу по отношению к данной. Найти оптимальное решение симплексным методом для одной из них.

$$\begin{cases} Z = 3x_1 + 10x_2 + 2x_3 - 5 \rightarrow \max \\ 3x_1 + x_2 - 2x_3 \leq 1, \\ -2x_1 + x_2 + 3x_3 \leq 3, \\ x_1 + 2x_2 - x_3 \leq 8, \\ x_j \geq 0 \end{cases}$$

4. Найти оптимальный план для следующей транспортной задачи:

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 5     | 4     | 2     | 3     | 40         |
| $A_2$      | 4     | 3     | 9     | 2     | 140        |
| $A_3$      | 1     | 4     | 5     | 2     | 120        |
| $\sum b_j$ | 100   | 60    | 60    | 80    |            |

5. Химический комбинат должен за год произвести синтетические моющие средства 1 вида – 120000 т, 2 вида – 150000 т, 3 вида – 210000 т.

В соответствии с действующими стандартами моющие средства должны иметь следующий химический состав:

Таблица 9.1

| Моющее средство | Удельный вес контролируемых компонентов | Контролируемые компоненты | А  | Б  | В  | Г  | Д  |
|-----------------|-----------------------------------------|---------------------------|----|----|----|----|----|
| 1 вида          | 85%                                     | Нижний предел (%)         | 18 | 14 | 6  | 25 | 12 |
|                 |                                         | Верхний предел (%)        | 25 | 18 | 12 | 27 | 15 |
| 2 вида          | 90%                                     | Нижний предел (%)         | 4  | 32 | 16 | 7  | 18 |
|                 |                                         | Верхний предел (%)        | 6  | 35 | 24 | 12 | 20 |
| 3 вида          | 95%                                     | Нижний предел (%)         | 10 | 14 | 28 | 25 | 8  |
|                 |                                         | Верхний предел (%)        | 12 | 18 | 32 | 28 | 9  |

При изготовлении моющих средств может быть использовано в любой пропорции пять различных видов сырья. Их химических состав, стоимость и ограничение поставки приводятся в таблице 9.2:

Таблица 9.2

| Сырье | Содержание элементов, % |    |    |    |    |    | Стоимость сырья, руб./кг | Годовая поставка не более, т |
|-------|-------------------------|----|----|----|----|----|--------------------------|------------------------------|
|       | А                       | Б  | В  | Г  | Д  | Е  |                          |                              |
| 1     | 15                      | 15 | 15 | 15 | 20 | 20 | 0,1                      | 50000                        |
| 2     | 40                      | -  | -  | 50 | 10 | -  | 0,12                     | 80000                        |
| 3     | 20                      | 30 | 30 | -  | -  | 20 | 0,08                     | 120000                       |
| 4     | -                       | 8  | 12 | 30 | 40 | 10 | 0,11                     | 100000                       |
| 5     | 6                       | 24 | 20 | 18 | 32 | -  | 0,12                     | Не огран.                    |

Составить оптимальную рецептуру используемого сырья для производства моющих средств, определить его годовой расход по видам и годовые затраты на сырье в целом.

### Вариант 10

1. Решение задач линейного программирования
2. Решить задачу линейного программирования графическим методом

$$Z = x_1 + 4x_2 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} -2x_1 + x_2 \leq 2, \\ x_1 - 2x_2 \leq 2, \\ x_1 + x_2 \leq 5, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

3. Составить двойственную задачу по отношению к данной. Найти оптимальное решение симплексным методом для одной из них.

$$Z = 2x_1 + x_2 - x_3 - 1 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} x_1 - 2x_2 + x_3 \leq 4, \\ x_1 + x_2 - 3x_3 \leq 9, \\ x_1 + 3x_2 + 2x_3 \leq 10, \\ x_j \geq 0. \end{cases}$$

4. Найти оптимальный план для следующей транспортной задачи:

| $A_i, B_j$ | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $\sum a_i$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| $A_1$      | 2     | 1     | 1     | 3     | 120        |
| $A_2$      | 1     | 2     | 3     | 2     | 80         |
| $A_3$      | 1     | 3     | 2     | 1     | 40         |
| $\sum b_j$ | 80    | 60    | 80    | 20    |            |

5. В механическом цехе производится изготовление двух изделий. В соответствии с программой в течение квартала необходимо отправить потребителям 4000 первых и 8000 вторых изделий.

При этом поставки изделий по месяцам квартала должны составлять:

Таблица 10.1

| № изделия | 1 месяц | 2 месяц | 3 месяц | Итого |
|-----------|---------|---------|---------|-------|
| 1         | 1000    | 2000    | 1000    | 4000  |
| 2         | 2000    | 3000    | 3000    | 8000  |

На начало квартального периода в цехе имелось 500 первых готовых изделий и 800 вторых. На конец периода требуется обеспечить соответственно 700 и 400 готовых изделий. Себестоимость каждого из этих изделий составляет 10 руб.

Обработка и изготовление изделий осуществляется с помощью оборудования трех групп. Располагаемый фонд рабочего времени оборудования (час) по месяцам квартала приводится в таблице 10.2:

Таблица 10.2

| Месяцы квартала | Оборудование |          |          |
|-----------------|--------------|----------|----------|
|                 | 1 группы     | 2 группы | 3 группы |
| 1               | 50000        | 60000    | 42000    |
| 2               | 65000        | 60000    | 55000    |
| 3               | 60000        | 65000    | 52000    |

Затраты станочного времени на изготовление изделия по каждой группе оборудования (час/изд) составляют:

Таблица 10.3

| № изделия | Оборудование |          |          |
|-----------|--------------|----------|----------|
|           | 1 группы     | 2 группы | 3 группы |
| 1         | 20           | 10       | 15       |

|   |    |    |    |
|---|----|----|----|
| 2 | 10 | 15 | 10 |
|---|----|----|----|

Требуется составить план производства изделий по месяцам квартала с таким расчетом, чтобы удовлетворить потребности потребителя и обеспечить минимальную величину остатков готовой продукции за весь плановый период.

### **7.3. Общие требования к написанию и оформлению работы**

Тематика контрольных работ разрабатывается преподавателем, читающим данную дисциплину. Вариант контрольной работы определяется в порядке, установленном преподавателем: по последней цифре номера зачетной книжки.

В контрольной работе должны быть даны обстоятельные ответы на теоретические вопросы, правильно выполненные тесты.

При написании контрольной работы студент должен использовать новейшую литературу по данному курсу, а также литературные и нормативные источники, рекомендованные преподавателем.

Замечания, выявленные преподавателем в ходе проверки, фиксируются на полях работы. К рассмотрению не принимаются ксерокопии контрольных работ и работы, которые выполнены с нарушением установленных требований. Студент, контрольная работа которого не получила положительную оценку, не допускается к сдаче зачета по дисциплине.

Объем контрольной работы – 10 печатных страниц. Текст работы должен быть напечатан через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги (А-4). Текст и другие отпечатанные элементы работы должны быть черными, контуры букв и знаков четкими, без ореола и затенения. Шрифт Times New Roman, кегель 14. Названия вопросов выделяются полужирным шрифтом. Лист с текстом должен иметь поля: слева - 30 мм, справа - 10 мм, сверху - 20 мм, снизу 20 мм. Нумерация страниц текста делается в правом верхнем углу листа.

Список использованной литературы обязателен.

Контрольная работа регистрируется на кафедре «Экономики, менеджмента и государственного управления» в установленные сроки лаборантами кафедры.

Непредставление работы в срок является основанием не допуска студента к экзамену по данной дисциплине.

### **7.4. Указания по выполнению задания**

Выполняемая в соответствии с учебным планом контрольная работа по дисциплине «Цифровая модернизация и моделирование бизнес-процессов» состоит из двух частей:

- ✓ теоретической, включающей один вопрос, на который необходимо дать полный, развернутый ответ;
- ✓ практической, предполагающей решение задач.

При выполнении теоретической части следует иметь в виду, что изложение должно носить конспективный характер, быть систематизированным, иллюстрироваться схемами, рисунками и графиками. При выполнении теоретической части следует иметь в виду, что изложение должно носить конспективный характер, быть систематизированным, иллюстрироваться схемами, рисунками и графиками. Практическая часть выполняется по темам, не совпадающим с темами теоретической части, что позволяет охватить домашним заданием, как минимум, три темы курса. Практическая часть включает решение задач и анализ полученных результатов.

### **7.5. План-график выполнения задания**

Работа над контрольной работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

| № п/п | Наименование этапа                      | Сроки выполнения            |
|-------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| 1     | Получение задания                       | Первое практическое занятие |
| 2     | Первичная консультация с преподавателем | Первое практическое занятие |

|   |                                              |                                                 |
|---|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 3 | Работа с информационными источниками         | 3 семестр (4 семестр ЗФО)                       |
| 4 | Написание контрольной работы                 | 3 семестр(4 семестр ЗФО)                        |
| 5 | Предоставление контрольной работы на кафедру | 3 семестр (4 семестр ЗФО), 16-я неделя семестра |
| 6 | Защита контрольной работы                    | На последнем практическом занятии               |

### **7.6. Критерии оценивания работы**

Проверка контрольной работы позволяет выявить насколько глубоко и полно студент усвоил соответствующие разделы или темы курса, имеются ли недоработки, пробелы в усвоении изучаемого материала.

Положительной оценкой работы является «зачтено». За работы, не удовлетворяющие предъявляемым требованиям, выставляется «не зачтено».

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он своевременно выполнил работу; использовал актуальную основную и дополнительную литературу; представил обоснование выбранной методики расчета; выбрал верную последовательность выполнения работы; произвел точные расчеты; предоставил обоснованные выводы по работе; выполненная работа соответствует индивидуальному варианту студента.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он своевременно выполнил работу; использовал достаточно актуальную основную и дополнительную литературу; представил верную методику расчета; выбрал верную последовательность выполнения работы; произвел точные расчеты; предоставил выводы по работе; выполненная работа соответствует индивидуальному варианту студента.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он выполнил работу не вовремя; использовал неактуальную основную и дополнительную литературу; представил верную методику расчета; выбрал верную последовательность выполнения работы; произвел неточные расчеты; не предоставил обоснованные выводы по работе; выполненная работа соответствует индивидуальному варианту студента.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он несвоевременно выполнил работу; использовал неактуальную основную и дополнительную литературу; отсутствует обоснование выбранной методики расчета; выбрал неверную последовательность выполнения работы; произвел неточные расчеты со значительными ошибками; не предоставил обоснованные выводы по работе; выполненная работа не соответствует индивидуальному варианту студента.

### **7.7. Порядок защиты работы**

Проверенная преподавателем контрольная работа допускается к защите.

Защита контрольной работы происходит во время последнего практического занятия по дисциплине «Моделирование в управлении предпринимательской деятельностью».

Студент в течение 5 минут докладывает основные теоретические аспекты по выполненным заданиям. Отвечает на вопросы преподавателя, если это необходимо для уточнения ответа.

#### **Работа с литературой:**

| Рекомендуемые источники информации<br>(№ источника) |                |              |                  |
|-----------------------------------------------------|----------------|--------------|------------------|
| Основная                                            | Дополнительная | Методическая | Интернет-ресурсы |
| 1,2                                                 | 1,2            | 1            | 1-5              |

## **8.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ**

Изучение дисциплины «Моделирование бизнес-процессов» завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет,

систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

При подготовке к экзамену необходимо использовать конспекты лекций по дисциплине, учебники и учебные пособия (из списка основной и дополнительной литературы) или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

#### **Вопросы к экзамену**

1. Определение цифровой трансформации
2. Ключевые области цифровой трансформации
3. Основные направления цифровой трансформации бизнес-процессов
4. Преимущества цифровой трансформации
5. Предмет курса, история, текущее состояние и перспективы организационного управления.
6. Системный подход к описанию экономических объектов: современные методы и тенденции.
7. Процессный подход и процессно-ориентированная организация.
8. Соотношение функционального и процессного подходов.
9. Отражение процессного подхода в международных стандартах.
10. Бизнес-процесс и его компоненты
11. Определения бизнес-процесса, их классификация бизнес-процессов.
12. Основные элементы бизнес-процесса и его окружение.
13. Определение владельца бизнес-процесса.
14. Определение цели бизнес-процесса.
15. Определение границ и интерфейсов.
16. Определение входов и выходов бизнес-процесса.
17. Определение ресурсного окружения бизнес-процесса.
18. Документирование бизнес-процесса.
19. Определение ключевых показателей результативности бизнес-процесса.
20. Мониторинг бизнес-процесса
21. Понятие производственной функции.
22. Виды моделей производственных функций
23. Сетевая модель и ее основные элементы.
24. Сетевое планирование в условиях неопределенности
25. Общая характеристика метода динамического программирования.
26. Понятие имитационного моделирования.
27. Метод Монте-Карло как разновидность имитационного моделирования
28. СМО и их основные элементы.
29. Обслуживание с ожиданием
30. Расстановка контрольных точек для измерений.
31. Линейное программирование в оптимальном планировании.
32. Модель оптимизации производственной программы предприятия.
33. Модель оптимизации производственной мощности предприятия.
34. Обоснование метода оперативно-календарного планирования.
35. Модель оптимизации рецептуры смеси.
36. Модель оптимизации раскроя материалов.
37. Модель оптимизации производственных запасов

38. Применение производственной функции для экономического анализа.
39. Порядок и правила построения сетевой модели.
40. Временные параметры сетевых графиков.
41. Анализ и оптимизация сетевого графика.
42. Методы системной динамики
43. Методы агентного моделирования
44. Методы эволюционного моделирования
45. Инструментальные средства имитационного моделирования
46. Методы моделирования дискретно-событийных и динамических систем
47. Методы стохастического имитационного моделирования

## 9. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература:

1. Александров, Д. В. Моделирование и анализ бизнес-процессов Электронный ресурс : Учебник / Д. В. Александров. - Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2017. - 227 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-9908055-8-3, экземпляров не ограничено

2. Цифровая трансформация и моделирование бизнес-процессов : учебное пособие / А.Н. Байдаков, О.С. Звягинцева, А.В. Назаренко, Д.В. Запорожец, О.Н. Бабкина. - Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2017. - 179 с. : ил. - <http://biblioclub.ru/>, экземпляров не ограничено

### Дополнительная литература:

1. Мамонова, В. Г. Моделирование бизнес-процессов Электронный ресурс : Учебное пособие / В. Г. Мамонова, Н. Д. Ганелина, Н. В. Мамонова. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. - 43 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-7782-2016-4

2. Силич, В. А. Моделирование и анализ бизнес-процессов Электронный ресурс : Учебное пособие / В. А. Силич, М. П. Силич. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. - 212 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-86889-511-1

### Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Цифровая трансформация и моделирование бизнес-процессов» для студентов направления подготовки 38.04.02 «Менеджмент» (направленность (профиль): Бизнес-администрирование), Пятигорск, 2023 (электронная версия).

### Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины:

#### Интернет-ресурсы:

1. Корпоративный менеджмент [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cfin.ru/>
2. Российский центр поддержки конкуренции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.antimonopol.centro.ru>
3. Сайт «Профессионал управления проектами» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pmprofy.ru/>
4. Стратегическое управление: информационно-аналитический журнал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pmmagazine.ru/>

5. Федеральный портал «Экономика. Социология. Менеджмент» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecsocman.edu.ru>
6. Информационно-справочные и информационно-правовые системы, используемые при изучении дисциплины:

|   |                                                                                                                                          |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | <a href="http://catalog.ncstu.ru/catalog">http://catalog.ncstu.ru/catalog</a> – Официальный сайт библиотеки ФГАОУ ВО СКФУ.               |
| 2 | <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a> - «Университетская библиотека онлайн»                                            |
| 3 | <a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a> - ЭБС «IPRbooks»                                                       |
| 4 | <a href="http://www.consultant.ru">http://www.consultant.ru</a> – Официальный сайт Консультант плюс                                      |
| 5 | <a href="https://www.garant.ru/">https://www.garant.ru/</a> – Информационно-правовой портал «Гарант»                                     |
| 6 | <a href="http://www.gks.ru">http:// www.gks.ru</a> – Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации |