

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ  
ФГОУ ВПО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра  
эксплуатации машинно-тракторного парка

# **УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**

Сборник описаний практических работ  
для студентов специальности 190601  
«Автомобили и автомобильное хозяйство»  
очной формы обучения

КОСТРОМА  
КГСХА  
2008

УДК 656.13.07  
ББК 65.373.3-21  
У 67

*Составитель:* к.т.н., доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка ФГОУ ВПО Костромская ГСХА  
*И.А. Колегаев.*

*Рецензент:* к.э.н., доцент, зав. кафедрой экономики и управления техническим сервисом ФГОУ ВПО Костромская ГСХА *Н.А. Середина.*

*Рекомендовано к изданию методической комиссией  
факультета механизации сельского хозяйства,  
протокол № 4 от 29 октября 2008 г.*

**У 67    Управление техническими системами :** сборник описаний практических работ для студентов специальности 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» очной формы обучения / сост. И.А. Колегаев. — Кострома : КГСХА, 2008. — 66 с.

Издание содержит описание и порядок выполнения практических работ по дисциплине «Управление техническими системами».

Сборник описаний практических работ предназначен для студентов специальности 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» очной формы обучения.

УДК 656.13.07  
ББК 65.373.3-21

© ФГОУ ВПО Костромская ГСХА, 2008  
© И.А.Колегаев, составление, 2008  
© Оформление, РИО КГСХА, 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Предисловие .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>Введение .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>Практическая работа 1. Обоснование управленческих решений с использованием методов экспертных оценок.....</b>      | <b>6</b>  |
| 1.1. Коллективная работа экспертов .....  | 6         |
| 1.2. Индивидуальная работа экспертов .....  | 7         |
| 1.3. Априорное ранжирование .....   | 10        |
| 1.4. Метод задания весовых коэффициентов .....  | 12        |
| 1.5. Метод последовательных сравнений (предпочтений).....   | 13        |
| 1.6. Метод парных сравнений .....   | 14        |
| 1.7. Метод Делфи.....   | 14        |
| 1.8. Опросы и интервью .....  | 16        |
| 1.9. Комбинированные методы .....   | 17        |
| <b>Практическая работа 2. Дерево целей и систем .....</b>   | <b>20</b> |
| 2.1. Дерево целей .....   | 20        |
| 2.2. Дерево систем .....  | 22        |
| 2.3. Взаимодействие ДЦ и ДС .....   | 24        |
| 2.4. Классификация подсистем и факторов дерева систем .....   | 27        |
| <b>Практическая работа 3. Использование игровых методов при принятии решений в условиях дефицита информации.....</b>  | <b>31</b> |
| 3.1. Понятие риска и неопределенности при принятии решений.....   | 31        |
| 3.2. Понятие об игровых методах .....   | 33        |
| 3.3. Принятие решений в условиях риска .....  | 34        |
| 3.4. Принятие решений в условиях неопределенности .....   | 40        |
| 3.5. Особенности принятия решений в конфликтных ситуациях.....  | 42        |
| <b>Практическая работа 4. Моделирование методами сетевого планирования.....</b>                                       | <b>46</b> |
| 4.1. Этап I — описание комплекса работ, определение их последовательности и продолжительности (трудоемкости) .....    | 46        |
| 4.2. Этап II — построение сетевого графика .....  | 47        |
| 4.3. Этап III — расчет и анализ параметров сетевого графика .....   | 50        |
| 4.4. Этап IV — оптимизация сетевого графика, контроль и оперативное управление ходом выполнения комплекса работ ..... | 53        |
| <b>Практическая работа 5. Моделирование методом линейного программирования.....</b>                                   | <b>56</b> |
| 5.1. Общие сведения о линейном программировании .....   | 56        |
| 5.2. Задача оптимизации грузопотоков (транспортная задача) .....  | 57        |
| 5.3. Составление первоначального плана перевозок .....  | 58        |
| 5.4. Проверка плана на оптимальность .....  | 60        |
| 5.5. Получение улучшенного плана перевозок .....  | 62        |
| <b>Список рекомендуемых источников .....</b>  | <b>65</b> |
| <b>Приложение .....</b>   | <b>66</b> |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина СД.02 «Управление техническими системами» относится к циклу специальных дисциплин государственного образовательного стандарта для специальности 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство».

Дисциплина базируется на знаниях студентов, полученных при изучении таких дисциплин, как математика, экономика, информатика, основы теории надежности и диагностика, техническая эксплуатация автомобилей.

Целью преподавания дисциплины «Управление техническими системами» является формирование у студентов профессиональных знаний и навыков, необходимых при управлении технической эксплуатацией автомобилей, как характерного примера больших систем, включая анализ рынка и производства, современные методы принятия инженерных и управленческих решений.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- освоение основных понятий по управлению и методов анализа технических систем;
- овладение программно-целевыми методами анализа производства;
- освоение методов принятия инженерных и управленческих решений в рыночных условиях;
- формирование у студентов знаний и навыков, позволяющих им эффективно действовать не только в качестве инженера, но и менеджера инженерно-технической службы автотранспортных и сервисных предприятий разных форм собственности;
- ознакомление и получение навыков использования новых технологий и средств управления производством и принятия инженерных и управленческих решений в технических, экономических, социальных и других системах.

Дисциплина изучается посредством чтения лекций, проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов с литературой. Темы, рассматриваемые в данном издании, ориентированы на применение в сфере автомобильного транспорта и его подсистеме — технической эксплуатации автомобилей.

## ВВЕДЕНИЕ

Если в прошлые годы главным содержанием профессиональной деятельности инженера были технические и технологические вопросы, то в современных условиях рынка, характерных наличием рисков и конкуренции, важнейшим становится, наряду с техникой и технологией, умение специалиста управлять производством, т.е. большими техническими системами, состоящими из многих элементов или подсистем. Даже на уровне цеха или участка автотранспортного предприятия можно выделить такие элементы, как автомобили (с их агрегатами, узлами и деталями), необходимые запасные части и материалы, средства обслуживания и ремонта, персонал, взаимоотношения и связи с другими подразделениями, руководством и пр. Чтобы система функционировала эффективно, необходимо, чтобы все ее элементы взаимодействовали эффективно, а это может быть достигнуто только за счет умелого и обоснованного управления.

В связи с этим в данном издании рассмотрены нижеследующие вопросы:

- программно-целевой метод управления (работа 2);
- выбор оптимальных и рациональных решений (работы 3 и 5);
- методы принятия решений в условиях дефицита информации (работы 1 и 3);
- моделирование производственных процессов (работы 3, 4 и 5).

Все эти вопросы рассматриваются на примерах производственных ситуаций в автотранспортных предприятиях АТП, станциях технического обслуживания СТО и ремонтных мастерских РМ.

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1

## Обоснование управленческих решений с использованием методов экспертных оценок

*Цель работы:* научиться использовать экспертные методы для обоснования принимаемых управленческих решений.

### *Основные теоретические сведения*

Как правило, при принятии инженерных, управленческих и других решений отсутствует полная информация о состоянии системы, внешних условиях и последствиях принимаемых решений. Существуют различные методы, облегчающие принятие решений и их обоснование в условиях дефицита информации. Часть этих методов основана на интеграции мнений квалифицированных специалистов — экспертных оценках. Кроме того, широко используются опросы и интервью.

Методы получения экспертных оценок зависят от организации работы экспертов, которая подразделяется на две основные группы: *коллективную* и *индивидуальную*.

### **1.1. Коллективная работа экспертов**

При коллективной работе эксперты работают совместно и вырабатывают коллегиальное мнение, т.е. коллективная работа проходит в виде совещаний, в процессе которых могут быть использованы следующие методы:

- метод «комиссий» (открытое обсуждение и принятие решений);
- метод «мозговой атаки» (внимание участников концентрируется на выдвижении идей возможных путей решения одной конкретной задачи);
- метод «суда» (воспроизводит правила ведения судебного процесса, причем рассматриваемое решение выступает в качестве «подсудимого», а группы экспертов исполняют роли «прокурора» и «защиты»).

Особенностью коллективной работы экспертов является то, что при обсуждении вопроса присутствует вся группа специалистов, причем руководитель, проводящий совещание, сам формирует эту группу (как правило, из своих подчиненных и «доверенных» лиц), регламентирует последовательность выступлений, осуществляет подведение итогов и принятие конечного решения.

Преимущества коллективных методов: оперативность и внешняя демократичность. Недостатки: давление авторитета руководителя, отсутствие строгой процедуры учета мнения экспертов, подведения итогов и принятия решения. Недостатки частично могут быть компенсированы, если решение принимается тайным голосованием.

## **1.2. Индивидуальная работа экспертов**

При индивидуальной работе экспертов различают следующие методы:

- априорное ранжирование (метод простой ранжировки, метод предпочтения);
- метод задания весовых коэффициентов (метод оценивания);
- метод последовательных сравнений (последовательных предпочтений);
- метод парных сравнений;
- метод Делфи.

При индивидуальной работе экспертов для получения мнения каждого эксперта используют интервью в виде свободной беседы или по типу «вопрос – ответ», а также анкетирование. Эксперты подбираются из числа внешних специалистов, а организует проведение экспертизы не руководитель, а специалист(ы). При этом результаты экспертизы так же, как и при коллективной работе, носят для руководителя не обязательный, а рекомендательный характер.

Как правило, организаторам экспертизы необходимо узнать коллективное мнение экспертов относительно ряда факторов. Например:

- способы повышения эффективности работы АТП в целом или отдельных его подразделений;
- способы повышения работоспособности подвижного состава;
- необходимость и возможность проведения различных реконструкций;
- стратегии поведения АТП на рынке транспортных услуг;
- причины низкого (высокого) качества технического обслуживания ТО и ремонта Р;
- причины недостатков (успехов) в работе персонала и др.

Факторы эксперты должны сравнить друг с другом и либо просто ранжировать их (расставить по степени важности), либо оценить количественно. Например, эксперты могут решать следующие задачи:

- оценить факторы (подсистемы) по их вкладу в достижение поставленной цели, т.е. по влиянию на изменение целевой функции;
- сравнить факторы по времени, необходимому для реализации поставленной цели;
- определить рациональную последовательность реализации ряда мероприятий (подсистем);
- распределить ресурсы в условиях их ограничения между мероприятиями (подсистемами) и др.

Технология реализации большинства методов экспертной оценки при индивидуальной работе экспертов сводится к нижеследующему.

1. Организаторы экспертизы определяют перечень факторов, требующих ранжирования или оценки. Определение факторов может осуществляться на основании анализа литературных данных, обобщения имеющегося опыта, опроса специалистов, дерева систем и т.д.

2. Составляется анкета, в которой приводятся перечень факторов (желательно в табличной форме), необходимые пояснения и инструкции, примеры заполнения анкет.

3. Подбирается группа экспертов, которые являются специалистами в рассматриваемых вопросах, но лично не заинтересованы в результатах экспертизы.

Компетентность экспертов может оцениваться с помощью:

- тестов;
- метода самооценки;
- оценки эталонных факторов.

*При тестировании* мерой компетентности эксперта служит процент правильных ответов на вопросы из области, связанной с предстоящей экспертизой.



*Метод самооценки* состоит в том, что каждый кандидат в эксперты с использованием указанной ему шкалы оценивает свои знания по тем или иным вопросам. Максимальным баллом оценивается вопрос, который, по мнению эксперта, он знает лучше других, а минимальным — хуже других. Далее все остальные вопросы оцениваются баллами от максимального до минимального и выводится средняя самооценка данного эксперта и затем — группы экспертов. Этот метод позволяет также при необходимости создать подгруппы для экспертизы отдельных направлений.

*При оценке эталонных факторов* кандидатам в эксперты предлагается проранжировать набор факторов, событий или объектов, истинная значимость или состояние которых организаторам опроса известны, а экспертам — не известны.

4. Проводится устный или письменный инструктаж экспертов.

5. Экспертами осуществляется индивидуальная оценка предложенных факторов. Полученные оценки с другими экспертами не обсуждаются и передаются организаторам экспертизы.

6. Организаторами экспертизы проводится обработка результатов экспертного опроса, и выводится их коллективное мнение.

7. По результатам экспертизы организаторы опроса либо разрабатывают для руководителя системы предложения по решению конкретных проблем, либо передают ему результаты опроса без комментариев.

Этапы 5 и 6 зависят от применяемого метода экспертной оценки. Особенности каждого из методов будут подробно рассмотрены ниже.

Преимущества методов индивидуальной оценки:

- все этапы экспертизы (подбор экспертов, технология получения и обработки мнений и др.) более или менее регламентированы;
- внешние эксперты не заинтересованы в результатах экспертизы;
- можно привлечь гораздо более компетентных экспертов по сравнению со специалистами предприятия.

Основной недостаток — большая зависимость результатов от качества организации экспертизы. Особенно сильно влияют:

- подбор экспертов;
- выбор факторов;
- постановка вопросов.

Типичной ошибкой при использовании экспертных методов является стремление включить в оценку максимальное число показателей или объектов разных уровней.

Для получения более объективных данных при экспертной оценке сравнивают мнения экспертов нескольких групп и разных школ, для организации экспертизы обращаются к независимым аудиторам или аудиторским фирмам.

Далее рассмотрим методы экспертных оценок при индивидуальной работе экспертов более подробно.

### 1.3. Априорное ранжирование

Индивидуальная оценка предложенных факторов осуществляется экспертами в форме простого (априорного<sup>1</sup>) ранжирования. Например, если необходимо оценить факторы по степени их влияния на объект исследования (целевую функцию), то эксперты должны расположить факторы в порядке убывания их влияния. Таким образом, каждому фактору просто присваивается ранг (место) без какой-либо дополнительной количественной оценки. Фактор, имеющий наибольшее влияние, оценивается первым рангом (1 место). Фактору, имеющему меньшее значение, приписывается второй ранг (2 место) и т.д.

Обработка результатов экспертного опроса заключается в следующем.

1. По каждому фактору определяется сумма рангов (мест), присвоенных экспертами:

$$\Delta_j = \sum_{i=1}^M A_{ij},$$

где  $j$  — номер фактора;

$i$  — номер эксперта;

$M$  — количество экспертов;

$A_{ij}$  — ранг, присвоенный  $i$ -м экспертом  $j$ -му фактору.

2. Определяется средняя сумма рангов:

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{j=1}^K \Delta_j}{K},$$

где  $K$  — количество факторов.

---

<sup>1</sup> Априорное означает, что эксперт оценивает новое явление, факт на основе своего прошлого опыта.

3. Вычисляется коэффициент конкордации (предложен М. Кэнделлом), который показывает степень согласованности мнений экспертов:

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^K (\Delta_j - \bar{\Delta})^2}{M^2(K^3 - K)}.$$

Коэффициент конкордации может изменяться от 0 до 1. Если он существенно отличается от нуля ( $W \geq 0,5$ ), то можно считать, что между мнениями экспертов имеется определенное согласие.

Если коэффициент конкордации недостаточен ( $W < 0,5$ ), то организаторами экспертизы проводится анализ причин негативного результата. Такими причинами могут быть: нечеткие постановка вопросов или инструктаж, неправильный выбор факторов, подбор некомпетентных экспертов, возможность сговора между ними и др. После выявления причин и устранения недостатков проводится повторная экспертиза, но при этом, вне зависимости от причин предыдущей неудачи, использовать прежний состав экспертов не рекомендуется.

4. При  $W \geq 0,5$  проверяется гипотеза о неслучайности согласия экспертов. Для этой процедуры используется критерий Пирсона  $\chi^2$ , определяемый по формуле

$$\chi^2 = W M (K - 1).$$

Расчетное значение коэффициента  $\chi^2$  сравнивается с табличным (приложение), при этом число степеней свободы  $f$  принимается  $(K - 1)$ , а рекомендуемый уровень значимости  $\alpha = 0,01$ .

Если расчетное значение критерия Пирсона больше табличного, то это свидетельствует о наличии существенного сходства мнений экспертов. Иначе требуется выполнить те же действия, что и в случае недостаточности коэффициента конкордации  $W$ .

5. Коллективное мнение экспертов определяется по сумме рангов  $\Delta_j$ . Минимальной сумме рангов соответствует наиболее важный фактор, получающий первое итоговое место, далее факторы располагаются по мере возрастания суммы рангов.

При выполнении действий 1-5 используется таблица априорного ранжирования (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Сводная информация  
о ранжировании факторов экспертами

| Номер фактора $j$ | Номера экспертов, $i$   |   |   |   |     |     |     |     | $\Delta_j$ | $(\Delta_j - \bar{\Delta})^2$ | Итоговое место |
|-------------------|-------------------------|---|---|---|-----|-----|-----|-----|------------|-------------------------------|----------------|
|                   | 1                       | 2 | 3 | 4 | ... | $i$ | ... | $M$ |            |                               |                |
|                   | Ранги (оценки) $A_{ij}$ |   |   |   |     |     |     |     |            |                               |                |
| 1                 |                         |   |   |   |     |     |     |     |            |                               |                |
| 2                 |                         |   |   |   |     |     |     |     |            |                               |                |
| 3                 |                         |   |   |   |     |     |     |     |            |                               |                |
| ...               |                         |   |   |   |     |     |     |     |            |                               |                |
| $j$               |                         |   |   |   |     |     |     |     |            |                               |                |
| ...               |                         |   |   |   |     |     |     |     |            |                               |                |
| $K$               |                         |   |   |   |     |     |     |     |            |                               |                |
| Сумма             |                         |   |   |   |     |     |     |     | $\Sigma$   | $\Sigma$                      |                |

Привлекательность априорного ранжирования заключается в сравнительной простоте организации процедуры и оперативности получения результатов.

#### 1.4. Метод задания весовых коэффициентов

Заключается в присвоении всем факторам (признакам) весовых коэффициентов. Это присвоение может производиться двумя способами:

- 1) всем факторам назначают весовые коэффициенты так, чтобы сумма коэффициентов была равна, например, 1, 10, 100;
- 2) наиболее важному из всех факторов назначают весовой коэффициент, равный какому-то фиксированному числу, а всем остальным — коэффициенты, равные долям этого числа.

Обобщенное мнение экспертов  $S_j$  по  $j$ -му фактору определяется в виде среднего статистического значения:

$$S_j = \frac{\sum_{i=1}^M b_{ij}}{M},$$

где  $b_{ij}$  — весовой коэффициент, который присвоил  $i$ -й эксперт  $j$ -му фактору;

$M$  — число экспертов.

Чем больше величина  $S_j$ , тем больше важность этого признака.

При обработке оценок методом задания весовых коэффициентов обычно используют таблицу 1.2.

Таблица 1.2. Сводная информация об оценке факторов экспертами

| Номер фактора $j$ | Номера экспертов, $i$        |   |   |   |     |     |     |     | $\sum_{i=1}^M b_{ij}$ | $S_j$ |
|-------------------|------------------------------|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----------------------|-------|
|                   | 1                            | 2 | 3 | 4 | ... | $i$ | ... | $M$ |                       |       |
|                   | Весовой коэффициент $b_{ij}$ |   |   |   |     |     |     |     |                       |       |
| 1                 |                              |   |   |   |     |     |     |     |                       |       |
| 2                 |                              |   |   |   |     |     |     |     |                       |       |
| ...               |                              |   |   |   |     |     |     |     |                       |       |
| $j$               |                              |   |   |   |     |     |     |     |                       |       |
| ...               |                              |   |   |   |     |     |     |     |                       |       |
| $K$               |                              |   |   |   |     |     |     |     |                       |       |

Давать количественную оценку факторам экспертам несколько сложнее, чем просто ранжировать их, однако количественная оценка является более ценной для организаторов экспертизы. Кроме того, метод задания весовых коэффициентов легче в обработке по сравнению с априорным ранжированием.

### 1.5. Метод последовательных сравнений (предпочтений)

Данный метод сводится к нижеследующему.

1. Эксперт упорядочивает все факторы (признаки, параметры) в порядке уменьшения их значимости (влияние на объект исследования, результирующий признак, целевую функцию), т.е. ранжирует их:

$$A_1 > A_2 > A_3 \dots > A_n,$$

где  $n$  — общее количество факторов.

2. Факторам присваиваются оценки (коэффициенты)  $P_j$  следующим образом: самому первому  $P_1 = 1$ , всем остальным — весовые коэффициенты в долях единицы, т.е. в интервале  $0 \leq P_j \leq 1$ .

3. Эксперт сравнивает первый фактор, получивший оценку 1, со всеми остальными ( $n - 1$ ) факторами, вместе взятыми. Сравнение происходит через присвоенные коэффициенты, при этом возможны три варианта:

$$1) P_1 < \sum_{j=2}^n P_j; \quad 2) P_1 = \sum_{j=2}^n P_j; \quad 3) P_1 > \sum_{j=2}^n P_j.$$

4. Эксперт выбирает наиболее приемлемый, по его мнению, вариант и корректирует в соответствии с ним значение коэффициента первого признака (т.е. он становится больше или меньше единицы на определенную величину).

5. Эксперт повторяет действия 3 и 4, но при этом каждый раз отбрасывает самый последний (самый незначимый) фактор, так что в итоге доходит до сравнения значения  $P_1$  со значениями  $(P_2 + P_3)$ . Таким образом, выбирается окончательное значение  $P_1$ .

6. Действия 2-5 повторяются, но только уже для второго фактора (без первого), т.е. теперь оценка второго фактора сравнивается с суммой всех последующих.

7. В итоге определяются значения всех оценок (коэффициентов). Оценки переводятся в единую для всех экспертов шкалу, например, в веса (каждое значение от 0 до 1, сумма всех значений равна 1), проценты и др. Затем эти веса (проценты и т.п.) используются как коэффициенты для получения общего мнения экспертов методом задания весовых коэффициентов.

*Преимущество* этого метода состоит в том, что эксперт в процессе оценивания факторов (признаков) сам анализирует свои оценки. Таким образом, вместо назначения коэффициентов происходит творческий процесс их создания (выведения).

*Недостаток*: сложность и громоздкость, так как при числе факторов более 7 использование метода становится неприемлемым.

## **1.6. Метод парных сравнений**

Метод парных сравнений позволяет провести статистически обоснованный анализ согласованности мнений экспертов. Все факторы попарно сравниваются между собой. Оценка эксперта оформляется в виде матрицы. Затем из матриц каждого эксперта вычисляется суммарная матрица, каждый элемент которой есть итоговая оценка соответствующего фактора. Более подробную информацию о данном методе можно найти в источниках [6, 9].

## **1.7. Метод Делфи**

В настоящее время метод Делфи — это итерационная процедура, позволяющая подвергнуть мнение каждого эксперта критическому анализу со стороны всех остальных. Обычно метод используется в тех случаях, когда от экспертов требуется получить оценку в виде одного конкретного значения (например, срок проведения, стоимость, вероятность успеха какого-либо мероприятия, степень влияния конкретного фактора на результирующий признак и т.п.).

Порядок применения метода нижеследующий.

1. Руководитель экспертизы индивидуально ставит задачу перед экспертами и получает их оценки.

2. При обработке оценки экспертов располагаются в порядке возрастания их значений, образуя так называемую «шкалу оценок».

3. На шкале оценок наносятся квантили  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  таким образом, чтобы число экспертов и оценок разделить на четыре равные доли.  $Q_2$  обозначают также  $M$  и называют «медианное» значение результатов опроса экспертов. Это значение делит экспертов на две равные части. Каждый квантиль вычисляется как среднее арифметическое между двумя ближайшими оценками (см. пример ниже).

4. Каждому члену группы индивидуально сообщаются значения  $Q_1$ ,  $Q_2 = M$ ,  $Q_3$  и предлагается во втором туре пересмотреть свою оценку. Причем, если новая оценка больше  $Q_3$  или меньше  $Q_1$ , эксперту рекомендуется в письменном виде обосновать свое мнение.

5. Определяются результаты второго тура и новые значения  $Q_1$ ,  $Q_2 = M$ ,  $Q_3$  сообщаются всем экспертам. Как правило, после каждого тура дисперсия оценок сокращается. Обычно процедура продолжается 3-4 раза, после чего аргументы экспертов повторяются, а вариации оценок стабилизируются. В качестве группового мнения принимается медиана завершающего тура.

*Пример.* Предположим, что перед группой экспертов, состоящей из 12 специалистов, поставлена задача — оценить продолжительность перевода парка автомобилей на газомоторное топливо. Шкала оценок и нанесенные на нее квантили для первого тура могут выглядеть следующим образом:

| Эксперт, № | Оценка эксперта (первый тур)<br>продолжительности мероприятия, месяцы |
|------------|---|
| 9          | 10  |
| 8          | 11  |
| 5          | 12  |
| -----      | $Q_1 = 12,5$  |
| 7          | 13  |
| 12         | 14  |
| 10         | 16  |
| -----      | $Q_2 = M = 17$  |
| 4          | 18  |
| 3          | 20  |
| 11         | 21  |
| -----      | $Q_3 = 21,5$  |
| 1          | 22  |
| 2          | 24  |
| 6          | 25  |

Точность метода Делфи увеличивается с ростом числа экспертов и количества итераций и сокращается с увеличением интервала времени между турами и ответами членов группы.

Преимущества данного метода: анонимность, оперативность, управляемая обратная связь, возможность оценки мотивации при изменении мнения эксперта.

Основной недостаток метода — влияние мнения большинства на экспертов, давших крайние оценки.

## **1.8. Опросы и интервью**

Особенности этих методов состоят в том, что первичные оценки производят не специально выбранные эксперты, а участники процесса, например потребители продукции и услуг, персонал предприятий, водители, ремонтные рабочие.

Наиболее распространенные цели опросов:

- сбор недостающей при принятии решений информации;
- маркетинговый анализ;
- оценка качества продукции, услуг и исполнителей;
- мониторинг общественного мнения;
- пиаровские акции.

При опросах, которые проводятся, как правило, в форме анкет, реже интервью, важно регламентировать оценки, иначе полученные данные невозможно сопоставить и обработать. Обычно применяют следующие формы регламентации:

- ранжирование, т.е. расположение в порядке убывания или возрастания выбранных показателей (1, 2-е и т.д. места);
- отнесение к определенным количественным или качественным обозначенным классам (например, пятибалльная оценка);
- альтернативная (да/нет, хорошо/плохо и т.п.).

Следует учитывать, что результаты опросов существенно зависят от их организации: контактный или бесконтактный методы, порядок заполнения и получения анкет, подбор участников опроса, отсеивание результатов и т.д.

Интервью — это способ прямого (контактного) получения определенной информации, которая после соответствующей обработки используется для количественной или качественной оценки определенной ситуации, процесса, продукции, услуг и т.п. Интервью может быть свободным, без конкретного перечня вопросов и стандартизированным.



Наиболее часто интервью используется для получения систематизированной информации о состоянии персонала и целенаправленного управления им.

### 1.9. Комбинированные методы

Достаточно часто экспертные методы, результаты опросов и интервью используются в комбинации с другими методами: результатами эксперимента, экономическими расчетами и др. Это происходит при оценке комплексных показателей, состоящих из нескольких частных, а также оценке (ранжировании) приоритетности мероприятий. При этом частные показатели оцениваются или рассчитываются непосредственно (результаты экспериментов, наблюдений, расчетов), а их влияние (вес, вклад) на комплексный показатель — с помощью экспертных методов.

Рекомендуется нижеследующая последовательность применения данного метода.

1. Выбирается  $n$  объектов, требующих комплексной оценки, каждому из которых присваивается определенный номер. Объектами могут быть изделия, услуги, технологии, специалисты и т.п.

2. На основании имеющегося опыта, литературных данных, экспертизы определяются главные свойства объекта, подлежащие оценке.  $M$  — количество главных свойств.

3. Выбираются количественные или качественные параметры и соответствующие показатели, характеризующие выбранные свойства.

4. Определяется методика или способ оценки каждого из выбранных показателей. Это может быть эксперимент, литературные или статистические данные, экспертная оценка.

5. Так как прямое суммирование полученных показателей разных свойств по каждому объекту невозможно (разная размерность, физический смысл, значение для эффективности), показатели каждого свойства ранжируются, т.е. переводятся в ранги (баллы, очки). Получаем набор рангов  $b_{im}$  ( $i$  — номер объекта,  $m$  — номер показателя у  $i$ -го объекта). При этом шкала рангов должна быть единой для всех показателей. Можно применять десяти-, пяти- и т.д. балльные шкалы.

6. Экспертными методами определяется весомость  $w_m$  каждого из рассматриваемых свойств, причем

$$\sum_{m=1}^M w_m = 1.$$

7. Определяется комплексная оценка объектов как сумма взвешенных по весомости рангов (баллов, очков) всех полученных показателей каждого объекта:

$$KO_i = \sum_{m=1}^M b_{im} w_m.$$

Если известна цена объекта  $C$  (например, это изделие) и его ресурс  $P$ , то можно определить так называемые потребительские свойства изделия, применяя известное соотношение «цена/качество»:

$$\text{— с учетом ресурса — } PK_i = \frac{C_i}{P_i KO_i},$$

$$\text{— без учета ресурса — } PK'_i = \frac{C_i}{KO_i}.$$

Сравнивая  $KO_i$  или  $PK_i$  (если  $PK_i$  удалось определить), можно сравнивать между собой объекты, которые подлежали комплексной оценке.

Комбинированные методы позволяют получить более объективную характеристику объектов или услуг (по сравнению с простым применением экспертных оценок) при условии правильного выбора показателей их свойств и механизма их совместной оценки.

\* \* \*

Главным при использовании тех или иных методов (экспертиз, опросов, интервью и т.п.) является квалифицированная организация этих процессов, т.е. четкая постановка целей, отбор представительных респондентов, ясная формулировка вопросов и унификация формы ответов, инструментальная обработка результатов, осторожные и обоснованные выводы, содержащиеся не только прямые результаты, но и оценку достоверности, точности и границ использования.

#### *Задания*

1. Провести экспертную оценку с использованием априорного ранжирования.
2. Провести экспертную оценку с использованием метода задания весовых коэффициентов.
3. Провести экспертную оценку комбинированным методом.
4. Ознакомиться с теорией применения других методов.

### *Порядок выполнения заданий*

1. Преподаватель определяет перечень факторов, требующих ранжирования. Каждый студент выступает в роли эксперта, производит ранжирование факторов, после чего, соблюдая очередность, сообщает свою оценку аудитории для занесения ее в таблицу 1.1. После этого данные обрабатываются согласно приведенной выше методике.

2. Используются те же факторы, что и в первом случае, только теперь каждый фактор оценивается коэффициентом от 0 до 100 (сумма коэффициентов для всех факторов должна быть равна 100), а результаты оценки заносятся в таблицу 1.2.

Необходимо сравнить результаты, полученные первым и вторым методами.

3. Выбор объектов, их свойств, показателей и способов их определения (этапы 1-4) производится студентами совместно с преподавателем и проходит в форме активного обсуждения. Далее студенты выступают в роли экспертов и производят ранжирование показателей и определение их весомости (этапы 5, 6). После этого рассчитываются комплексные оценки каждого объекта, выполняется их сравнение (этапы 7-9) и формулируются выводы.

Необходимо быть готовым ответить на контрольные вопросы.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие существуют методы коллективной работы экспертов? В чем заключается особенность этих методов?
2. Какие существуют методы индивидуальной работы экспертов? В чем заключается особенность этих методов?
3. Какова технология реализации экспертной оценки при индивидуальной работе экспертов?
4. Что представляют собой оценки экспертов и каков порядок их обработки при априорном ранжировании?
5. Что представляют собой коэффициент конкордации Кэнделла и критерий Пирсона  $\chi^2$ ?
6. Что представляет собой метод задания весовых коэффициентов?
7. Что представляет собой метод последовательных сравнений?
8. Что представляет собой метод Делфи?
9. Что такое опросы и интервью?
10. Что представляют собой комбинированные методы?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2

### Дерево целей и систем

*Цель работы:* ознакомиться с основными приемами реализации программно-целевого метода управления.

#### *Основные теоретические сведения*

Программно-целевой метод управления предполагает четкое определение цели системы и интеграцию всех видов деятельности подсистем в виде программы для достижения поставленной цели. Определение цели и подсистем для ее реализации не всегда является простой задачей, особенно в больших системах. Решить эту задачу можно путем построения так называемых «дерева целей» и «дерева систем» с последующим анализом их взаимодействия.

### 2.1. Дерево целей

При формулировании цели конкретной системы возникают несколько достаточно сложных задач.

1. Как от общих или обобщенных целей вышестоящей системы перейти к конкретным количественно описанным целям подсистем?
2. Как сопоставить или ранжировать несколько целей, которые иногда могут быть противоречивы?
3. Как цели соразмерить с ресурсами, а последние перераспределить между несколькими целями?
4. Как цели подсистем заставить работать на цели системы?

Для разрешения этих сложных и противоречивых задач рекомендуется использовать следующий прием: если реальная система имеет несколько целей разной значимости и уровня, то их следует упорядочить, построив дерево целей ДЦ.

В данном случае ДЦ — это упорядоченная иерархия целей, выражающая их соподчинение и внутренние взаимосвязи.

Схема дерева целей представлена на рис. 2.1 (обратите внимание на обозначения вершин и дуг ДЦ).

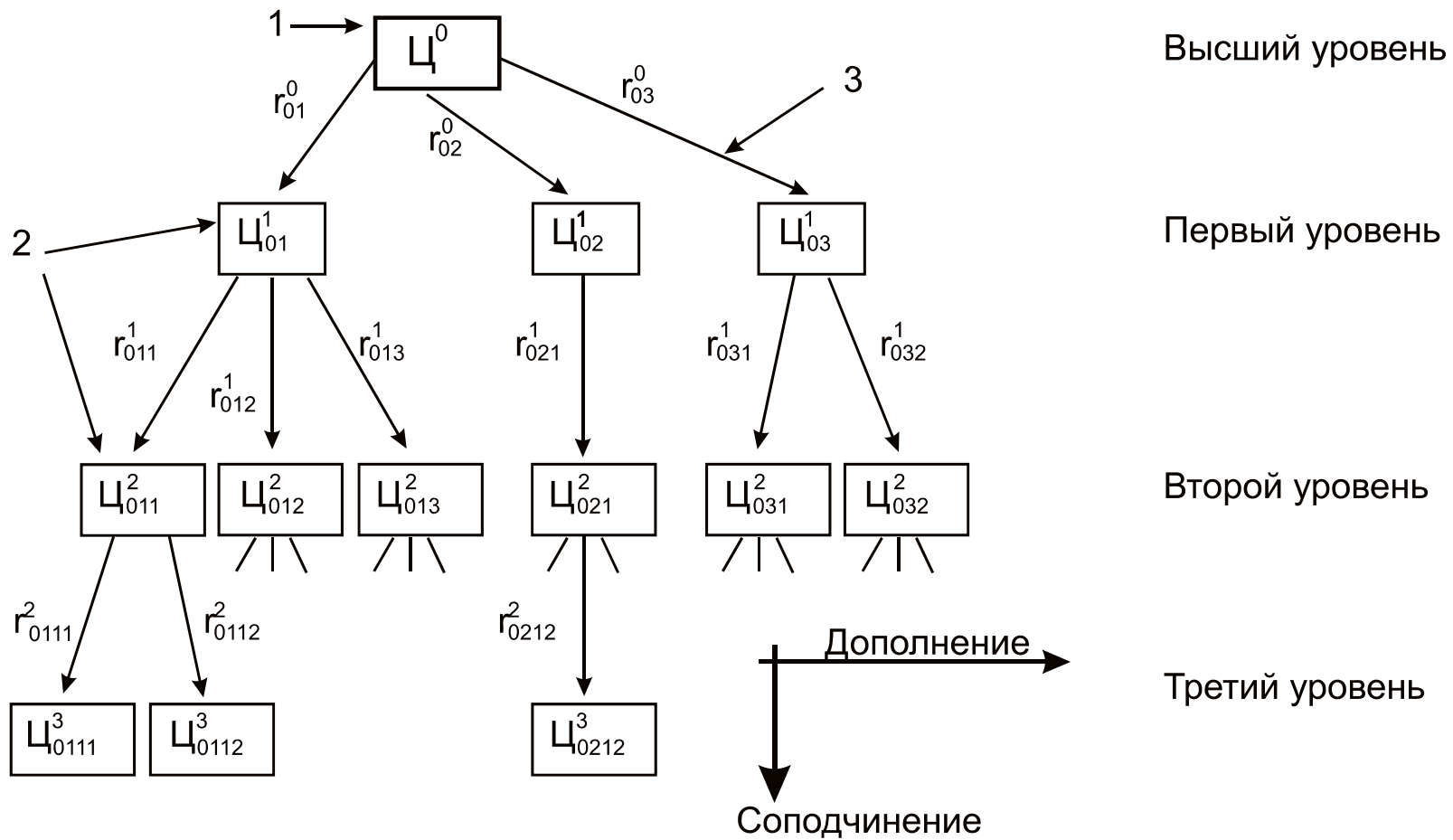


Рис. 2.1. Схема дерева целей:  
 1 — корень ДЦ (генеральная цель системы); 2 — вершины ДЦ; 3 — дуги ДЦ

При построении ДЦ происходит декомпозиция — разложение целей по уровням, т.е. их упрощение, конкретизация, уточнение адресности. Декомпозиция продолжается до так называемых элементарных целей, которые дальнейшему разложению не подлежат. Например, для персонала предприятия это цели, которых должен добиваться конкретный исполнитель.

В ДЦ отношение целей низшего уровня к целям высшего — соподчинение. Цели же одного уровня дополняют друг друга (дополнение).

Одна из форм соподчинения — это определение конкретного вклада (весомости) цели низшего уровня в достижение цели высшего. Иногда вклад может быть и негативным, а цели превращаются в «антицели». Но принципы анализа системы с помощью ДЦ сохраняют свое значение.

Дерево целей, помимо прочего, позволяет:

- 1) четко определить структуру предприятия, подчиненность отдельных подразделений;
- 2) определить обязанности подразделений по отношению к вышестоящим и права по отношению к нижестоящим подразделениям;
- 3) проследить траектории и время прохождения информации, решений, распоряжений;
- 4) выявить слабые и тупиковые звенья;
- 5) определить эффективность работы подразделения и исполнителей;
- 6) усовершенствовать систему стимулирования подразделений и персонала и т.п.

## **2.2. Дерево систем**

После того как установлены конкретные цели системы, необходимо определить наиболее эффективные способы достижения этих целей. Цели, как правило, можно достичь несколькими способами или их комбинацией. Поэтому при управлении целесообразно проводить анализ и сравнение нескольких путей достижения целей, т.е. целесообразна альтернативность при выборе решений (избыточность банка решений при выборе методов достижения поставленных целей).

Альтернативность при управлении и принятии решений дает следующие преимущества:

- 1) при выборе альтернатив рассматриваются многие варианты достижения цели, т.е. сокращается вероятность пропуска хороших, но сразу не видимых решений;
- 2) появляется состязательность вариантов;
- 3) при защите своих вариантов в ходе дискуссии их авторы выявляют слабые стороны и могут улучшать свое предложение, совершенствуя его;
- 4) руководитель, принимая окончательное решение, может взять лучшие блоки из разных альтернатив (морфологический метод).

Альтернативы или их комбинации находятся в определенных иерархических связях и по-разному могут влиять на достижение целей системы. Таким образом, способы достижения поставленных целей требуют такой же систематизации, как и сами цели и подцели.

Систематизацию и упорядочение выявленных способов достижения поставленных перед системой целей рекомендуется осуществлять построением дерева систем ДС.

Если дерево целей определяет, что необходимо сделать, каких показателей эффективности достичь, то ДС определяет, с помощью каких мероприятий этого можно добиться.

Поэтому в ДЦ вершины — это генеральная и частные цели или функции, а в ДС в вершинах указываются объекты или системы, которые реализуют эти функции (целереализующие системы). Иногда их называют факторами, а задача управления определяется следующим образом: выбрать из ДС ряд факторов (подсистем), влияя на которые, можно наиболее эффективно добиться достижения поставленных целей. ДС может воспроизводить ДЦ или не совпадать с ним.

Дерево систем строится по тем же законам, как и дерево целей (см. рис. 2.1), т.е. определяется генеральная система  $C^0$ , которая структурируется на подсистемы первого, второго и последующих уровней ( $C^1_{01}, C^1_{02}, \dots, C^1_{0n}$ ).

Осуществление управления с помощью построения ДЦ и ДС позволяет:

- 1) выявить все факторы и подфакторы, влияющие на достижение поставленной цели;
- 2) оценить, взвесить уровень влияния, т.е. установить наиболее действующие подсистемы;
- 3) исключить реализацию целей низшего уровня за счет высшего, т.е. сохранить иерархию целей и систем;
- 4) выявить факторы и подфакторы одного уровня, влияя на которые в рамках ограниченных ресурсов, можно наиболее эффективно достичь поставленной цели;
- 5) по мере декомпозиции, т.е. разложения целей и систем, увеличивается их адресность, т.е. возможность их делегирования конкретным подразделениям и службам АТП. Это обеспечивает персонализацию ответственности за их реализацию и установление обоснованных показателей эффективности служб, цехов, участков, а при необходимости и исполнителей;
- 6) разложение целей и систем на частные позволяет более конкретно их проанализировать и сократить при принятии решений вероятность серьезных ошибок, свойственных глобальным решениям.

### **2.3. Взаимодействие ДЦ и ДС**

При принятии решений, их сравнении необходимо определить, как конкретное мероприятие ДС может повлиять на изменение целевого показателя, т.е. достижение поставленной перед системой генеральной цели. Иными словами, необходимо определить вклад этого мероприятия (подсистемы) в достижение цели.

Анализ взаимодействия ДЦ и ДС проводится в нижеследующем порядке.

1. Строится дерево ДЦ и ДС, причем ДС изображается в перевернутом виде и располагается под ДЦ (см. пример на рис. 2.2).

2. Определяется направление влияния конкретных подсистем (факторов) ДС на определенные подцели ДЦ (рассматриваются только подсистемы и подцели самого нижнего уровня). Если подсистема участвует в реализации подцели, то от подсистемы к подцели проводится стрелка.



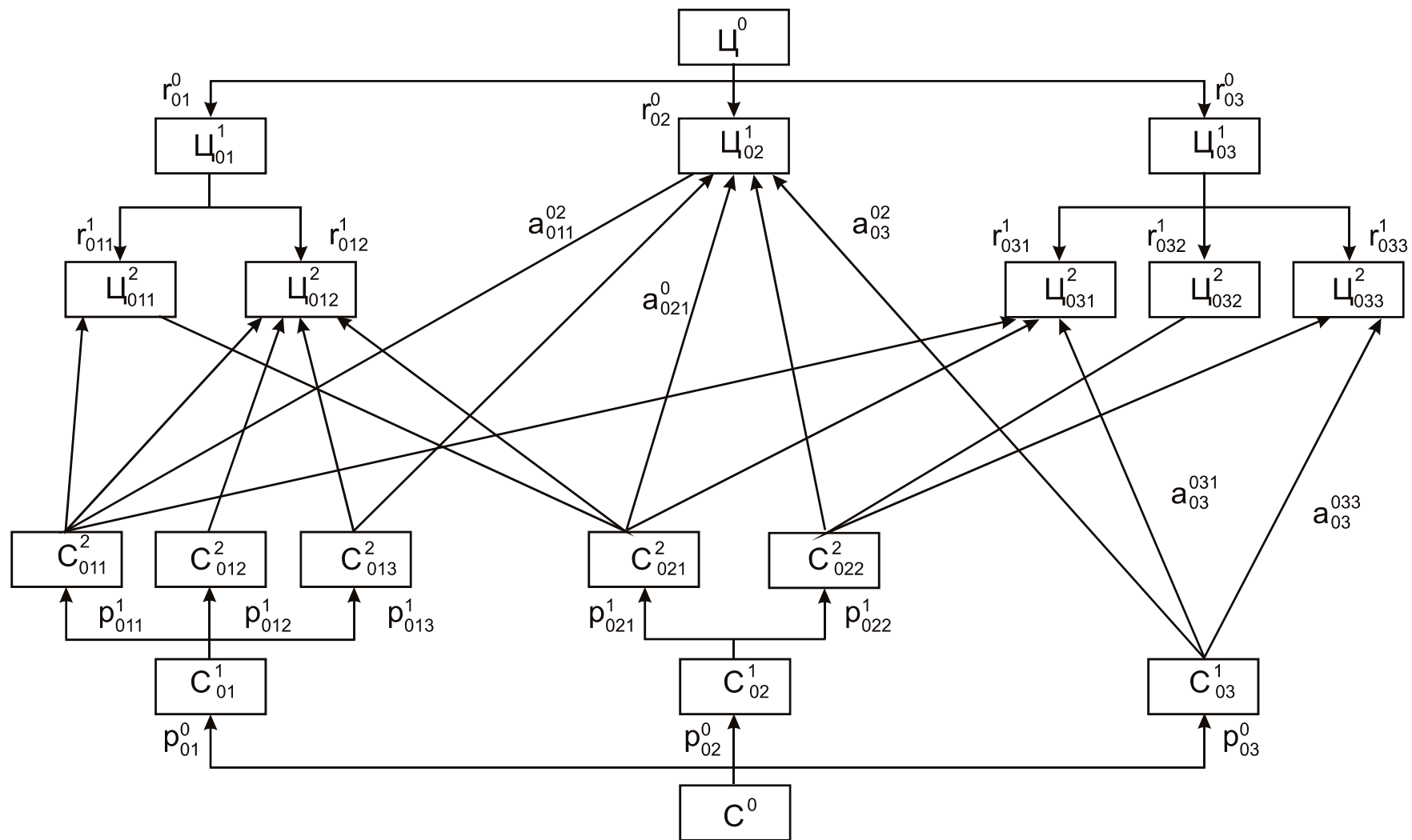


Рис. 2.2. Взаимодействие дерева целей и дерева систем

3. Определяется вклад каждой подсистемы в реализацию соответствующей подцели  $a_c^y$  ( $y$  — индекс подцели,  $c$  — индекс подсистемы). Например,  $\zeta_{011}^2$  реализуется за счет подсистем  $C_{011}^2, C_{021}^2$  (см. рис. 2.2). Наиболее вероятно, что  $C_{011}^2$  и  $C_{021}^2$  воздействуют на  $\zeta_{011}^2$  не в равной степени.  $\zeta_{011}^2$ , например, может на 75% реализовываться за счет  $C_{011}^2$  и только на 25% — за счет  $C_{021}^2$  (следовательно,  $a_{011}^{011} = 0,75, a_{021}^{011} = 0,25$ ).

Определение вкладов подсистем в подцели подобно определению степени влияния (вкладов) каждой подцели в генеральную цель (п. 2). После определения вкладов размечаем дуги.

4. Результаты разметки дуг переносятся в функционально-системную матрицу (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Функционально-системная матрица

| Подсистема                | Вклад $a_n^{\delta}$ подсистемы в реализацию подцели |                                |                |                                |                                |                                |
|---------------------------|--|--------------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                           | $\zeta_{011}^2$                                      | $\zeta_{012}^2$                | $\zeta_{02}^1$ | $\zeta_{031}^2$                | $\zeta_{032}^2$                | $\zeta_{033}^2$                |
| $C_{011}^2$               |  |                                |                |                                |                                |                                |
| $C_{012}^2$               |  |                                |                |                                |                                |                                |
| $C_{013}^2$               |  |                                |                |                                |                                |                                |
| $C_{021}^2$               |  |                                |                |                                |                                |                                |
| $C_{022}^2$               |  |                                |                |                                |                                |                                |
| $C_{03}^1$                |  |                                |                |                                |                                |                                |
| Всего по подцели          | $\Sigma = 1$   | $\Sigma = 1$                   | $\Sigma = 1$   | $\Sigma = 1$                   | $\Sigma = 1$                   | $\Sigma = 1$                   |
| Вклад подцели в $\zeta^0$ | $r_{01}^0$<br>×<br>$r_{011}^1$                       | $r_{01}^0$<br>×<br>$r_{012}^1$ | $r_{02}^0$     | $r_{03}^0$<br>×<br>$r_{031}^1$ | $r_{03}^0$<br>×<br>$r_{032}^1$ | $r_{03}^0$<br>×<br>$r_{033}^1$ |

5. Для каждой подсистемы определяется ее структурный вклад в достижение генеральной цели системы: *перемножением вклада подсистемы в достижение подцели на вес этой подцели в генеральной цели  $\zeta^0$* . При этом используют данные функционально-системной матрицы. Результаты расчетов сводятся в таблицу вклада подсистем (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Вклад подсистем

| Подсистема  | Структурный вклад подсистемы в подцель |                      |                     |                      |                      |                      | Общий вклад |
|-------------|--|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
|             | $C_{011}^2$                            | $C_{012}^2$          | $C_{02}^1$          | $C_{031}^2$          | $C_{032}^2$          | $C_{033}^2$          |             |
| $C_{011}^2$ |  |                      |                     |                      |                      |                      | $\Sigma$    |
| $C_{012}^2$ |  |                      |                     |                      |                      |                      | $\Sigma$    |
| $C_{013}^2$ |  |                      |                     |                      |                      |                      | $\Sigma$    |
| $C_{021}^2$ |  |                      |                     |                      |                      |                      | $\Sigma$    |
| $C_{022}^2$ |  |                      |                     |                      |                      |                      | $\Sigma$    |
| $C_{03}^1$  |  |                      |                     |                      |                      |                      | $\Sigma$    |
| Сумма       | $\Sigma = r_{011}^1$                   | $\Sigma = r_{012}^1$ | $\Sigma = r_{02}^0$ | $\Sigma = r_{031}^1$ | $\Sigma = r_{032}^1$ | $\Sigma = r_{033}^1$ | 1           |

Последний столбец получается суммированием структурных вкладов каждой подсистемы, располагаемых в соответствующих строках таблицы.

6. Подводим итоги проведенной оценки. Отмечаем наиболее и наименее действенные подсистемы и/или их комбинации. При этом учитываем общие структурные вклады подсистем и их многоканальность (количество подцелей, которые реализуются каждой подсистемой). Чем больше общий структурный вклад и количество каналов, тем предпочтительнее подсистема.

Таким образом, используя ДЦ и ДС, можно провести структурную и количественную оценку вклада подсистем в достижение конечных целей. Тем самым, даже при ориентировочной оценке, можно существенно сузить область рациональных решений, т.е. перечень подсистем, через которые целесообразно прежде всего воздействовать для достижения поставленной цели.

#### 2.4. Классификация подсистем и факторов дерева систем

В реальных системах обычно имеется большой набор подсистем (факторов, подфакторов), влиять на которые одновременно невозможно по соображениям ресурсных ограничений и возможности равного внимания к нескольким объектам управления. Таким образом, из всего поля сложного ДС целесообразно выбрать несколько подсистем (факторов). Число таких факторов можно предварительно наметить, руководствуясь следующим правилом: *в системах реально и эффективно управлять и отслеживать можно только за  $7 \pm 2$  (число Мюллера) подсистемами или исполнителями.*

Поэтому факторы и подфакторы необходимо до принятия решения описать, оценить и классифицировать.

По уровню влияния данной подсистемы (или веса) на достижение цели. Чем больше уровень влияния, тем предпочтительнее выбор соответствующей подсистемы.

По управляемости подразделяются на *управляемые*, *частично-управляемые* и *учитываемые (неуправляемые)* для данного уровня управления.

Необходимо различать факторы *подвижные* и *консервативные*. Консервативные — это те, для влияния на которые требуется значительное время. Подвижные, соответственно, те, на которые можно повлиять сравнительно быстро.

Факторы могут быть *ресурсоемкие* и *ресурсосберегающие*.

Факторы подразделяются на создающие предпосылки для *экстенсивного* и *интенсивного* развития производства. Применение последних основано на использовании достижений научно-технического прогресса НТП.

Таким образом, проводя качественный анализ дерева систем на уровне конкретного предприятия, можно существенно сузить перечень подсистем, на которые следует воздействовать в процессе управления для достижения поставленных целей. К ним, прежде всего, относятся управляемые на данном уровне подвижные, ресурсосберегающие и обеспечивающие интенсивное развитие предприятия подсистемы и методы.

### Задания

1. На примере АТП рассмотреть процесс определения вкладов целей низшего уровня в достижение цели высшего.

2. Построить дерево целей для повышения эффективности работы парка автомобилей.

3. Построить дерево систем для совершенствования технической эксплуатации автомобилей АТП.

4. На конкретном примере рассмотреть процесс анализа взаимодействия ДЦ и ДС и произвести количественную оценку вклада подсистем в достижение генеральной цели.

5. Придумать примеры факторов, влияющих на работу АТП, которые подходят под каждый из классификационных признаков.

## Порядок выполнения заданий

1. Пример оформляется в виде таблицы (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Оценка вкладов целей

| Уровень<br>(подсистема) | Формулировка цели | Оценка<br>цели |
|-------------------------|-------------------|----------------|
|                         |                   |                |
|                         |                   |                |
|                         |                   |                |

Содержание первых двух граф таблицы определяется преподавателем, значения в последней графе рассчитывают студенты. После заполнения таблицы студентами определяются вклады подсистем в достижение поставленной цели.

2. Дерево целей строится как пример декомпозиции и соподчиненности целей. Поэтому на каждом уровне ДЦ допускается осуществлять полную декомпозицию только одной из вышестоящих целей (другие вышестоящие цели можно не рассматривать или рассматривать частично). Таким образом, одна из цепочек соподчинения целей должна быть представлена полностью — от генеральной до элементарных целей. Процесс построения происходит в форме активного обсуждения, преподаватель учитывает полезный вклад каждого студента.

3. Дерево систем строится как пример дополнения подсистем одного уровня. Поэтому необходимо полностью разработать первые два уровня ДС (остальные уровни могут не разрабатываться или разрабатываются частично). Процесс построения происходит в форме активного обсуждения, преподаватель учитывает полезный вклад каждого студента.

4. Анализ проводится согласно вышеприведенной методике.

| Пункт методики анализа | Пояснения  |
|------------------------|--|
| п. 1                   | структура ДЦ и ДС задается преподавателем;                                     |
| п. 2                   | вклады задаются преподавателем или определяются студентами экспертным методом; |
| п. 3                   | определение направлений влияния происходит в форме активного обсуждения;       |
| п. 4                   | вклады задаются преподавателем или определяются студентами экспертным методом; |
| п. 5                   | выполняется студентами самостоятельно;   |
| п. 6                   | выполняется студентами самостоятельно;   |
| п. 7                   | подведение итогов происходит в форме активного обсуждения.                     |

5. Студенты выносят на открытое обсуждение придуманные примеры, преподаватель учитывает активность каждого. Несколько наиболее удачных примеров формулируются в письменном виде.

### *Контрольные вопросы*

1. Что такое дерево целей и почему возникает необходимость в его использовании?
2. Что представляет из себя схема дерева целей?
3. Что такое декомпозиция, соподчинение и дополнение?
4. Какие дополнительные преимущества дает дерево целей при управлении предприятием?
5. Что такое альтернативность при управлении, зачем она нужна и какие дает преимущества?
6. Что такое дерево систем и почему возникает необходимость в его использовании? Что представляет собой схема дерева систем?
7. Какие преимущества обеспечивает предприятию управление с использованием дерева целей и систем?
8. Зачем проводится анализ взаимодействия дерева целей и дерева систем?
9. Каков порядок анализа взаимодействия дерева целей и систем (кратко)?
10. Что представляет собой схема взаимодействия дерева целей и систем?
11. Как определяется вклад каждой подцели в вышестоящую цель и вклад каждой подсистемы в реализацию соответствующей подцели?
12. Что представляют собой функционально системная матрица и таблица вклада подсистем?
13. Зачем нужно классифицировать подсистемы (факторы) дерева систем?
14. Какие главные признаки классификации факторов дерева систем?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3

### Использование игровых методов при принятии решений в условиях дефицита информации

*Цель работы:* познакомиться с игровыми методами принятия решений в условиях дефицита информации и получить навыки практического их использования для решения задач, возникающих при эксплуатации автомобильного транспорта.

#### *Основные теоретические сведения*

### 3.1. Понятие риска и неопределенности при принятии решений

Чтобы достичь поставленной перед системой цели, необходимо выполнить некую операцию (это может быть отдельное действие, мероприятие или целая программа). Каждая операция оценивается ее эффективностью, т.е. вкладом в достижение цели, который обеспечивается при ее выполнении. В общем случае показатель эффективности (или целевая функция) может зависеть от трех групп факторов (подсистем):

$$U = f(a_1, a_2, \dots, a_n; \quad \text{I} \quad \text{II} \quad \text{III} \\ x_1, x_2, \dots, x_m; \quad z_1, z_2, \dots, z_k). \quad (3.1)$$

Первая группа факторов ( $a_1 \dots a_n$ ) характеризует условия выполнения операции, которые заданы и не могут быть изменены в ходе ее выполнения. Для конкретного АТП это, например, климатические и дорожные условия региона.

Вторая группа факторов ( $x_1 \dots x_m$ ), которая иногда называется элементами решения, может меняться при управлении, влияя на целевую функцию. Эти управляемые факторы выбираются из дерева систем. Например, качество ТО и ремонта, квалификация персонала, уровни механизации работ и др.

Третья группа факторов ( $z_1 \dots z_k$ ) — заранее неизвестные условия, влияние которых на эффективность системы неизвестно или изучено недостаточно. Например, погодные условия «на завтра», число требований на ремонт в течение следующей смены, психофизиологическое состояние водителя и др.

Первая и третья группы факторов иногда условно объединяются общим понятием «природа» (производство), которое характеризует все внешние для системы условия, влияющие на исход операции.

При принятии решения надо найти такое значение  $x_m$ , чтобы получить необходимое значение целевой функции. При рациональном управлении значение целевой функции улучшается, а при оптимальном — становится наилучшим (минимальным или максимальным).

В зависимости от состояния III группы факторов целевой функции, различают принятие решений в условиях определенности, риска и неопределенности (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Условия принятия решений и состояние факторов целевой функции

| Условия принятия решения | Состояние факторов в целевой функции |                       |                          |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                          | I ( $a_n$ )                          | II ( $x_m$ )          | III ( $z_k$ )            |
| Определенность           | известны                             | необходимо определить | отсутствуют или известны |
| Риск                     |                                      |                       | известна вероятность     |
| Неопределенность         |                                      |                       | вероятность неизвестна   |

В условиях определенности, как правило, можно найти оптимальное значение целевой функции. В условиях риска и неопределенности можно говорить лишь об области рациональных решений. То есть необходимо найти такие элементы решения, которые по возможности обращали бы в максимум эффективность  $U$ .

Принятие инженерных, управленческих и других решений очень часто происходит при отсутствии полной информации о состоянии системы, внешних условиях и последствиях принимаемых решений, то есть происходит в условиях риска и неопределенности. Американские специалисты утверждают, что 80% решений принимается при наличии только 20% информации об управляемой системе и действующих на нее факторах.

Поэтому при управлении необходимо уметь теми или иными способами восполнить или компенсировать дефицит информации. Одним из таких способов является анализ рыночной, производственной или другой ситуации с использованием теории игр и статистических решений.



### 3.2. Понятие об игровых методах

В контексте предмета нашего рассмотрения игра — это упрощенная, очищенная от второстепенных деталей модель, предназначенная для математического анализа той или иной ситуации.

В игре функционируют стороны и рассматриваются (воспроизводятся) их возможные стратегии, то есть совокупность правил, предписывающих определенные действия в зависимости от ситуации, сложившейся в ходе игры. Если в игре выступают две стороны, то такая игра называется парной, если более двух — множественной.

Различают игры конфликтные (антагонистические) и «игры с природой» («игры с производством»).

В конфликтных играх (конкуренция, спортивные соревнования, военные действия) стороны осмысленно противодействуют друг другу. Выигрыш одной стороны означает проигрыш другой.

Игры с природой применяются при изучении производственных ситуаций, т.е. организационных, технических и технологических задач.

В играх с природой (производством) обычно рассматриваются две стороны:

- А — активная сторона. Это организаторы производства, т.е. руководители предприятий или их отдельных служб;
- П — пассивная сторона, или «природа». Это совокупность случайно возникающих производственных и рыночных ситуаций.

Активная сторона должна выбрать такую стратегию (то есть принять решение), чтобы получить максимальный эффект. При этом «природа» активно и осмысленно не противодействует мероприятиям стороны А, но точное состояние «природы» организаторам неизвестно.

Стороны в игре должны действовать строго по определенным правилам, которые, в частности, регламентируют:

- возможные варианты (стратегии) действия сторон;
- наличие и объем информации каждой стороны о поведении другой;
- результат игры, то есть изменение целевой функции при сочетаниях определенных стратегий сторон и др.

Если число возможных стратегий ограничено, то игры называются конечными, а при неограниченном числе стратегий — бесконечными.

В процессе игры стороны делают ходы. Результат хода — выбранная стратегия. Ходы бывают:

- личными — сознательный выбор стороны из возможных вариантов действий;
- случайными — это выбор из ряда возможных, но определяемый не самим участником игры, а механизмом вероятностного отбора вариантов;
- смешанными — представляют собой комбинацию личных и случайных ходов.

В играх с природой наиболее часто активная сторона делает личные ходы, а пассивная (природа) — случайные.

Результаты ходов оцениваются количественно по изменению целевой функции (3.1).

### 3.3. Принятие решений в условиях риска

При использовании понятия целевой функции (3.1) задача выбора решения в условиях риска формулируется следующим образом: при заданных условиях  $a_n$  и действии внешних факторов  $z_k$ , вероятность появления которых известна, найти элементы решений  $x_m$ , по возможности обеспечивающих получение экстремального значения целевой функции.

Порядок принятия решения с использованием игровых методов рассмотрим на примере: пусть необходимо определить рациональный запас агрегатов на складе АТП или СТО.

#### 3.3.1. Определение сторон в игре

Для рассматриваемого примера:

- сторона А — организаторы складского хозяйства, комплектуют тот или иной запас агрегатов;
- сторона П — производство, которое в заданных условиях и в случайном порядке «выдает» то или иное число требований на замену (ремонт) агрегатов определенного наименования. Причем вероятность появления того или иного числа требований на замену агрегатов (в условиях риска) может быть определена.

Таким образом, имеем вариант парной игры с природой.

### 3.3.2. Идентификация групп факторов целевой функции

В данном примере:

- $a_n$  — заданные условия: местоположение предприятия и размер парка, тип, состояние и условия эксплуатации автомобилей, состояние и обустройство базы для ТО и ремонта, обеспеченность персоналом, его квалификация и др. Эта группа факторов определяет:
  - поток требований на обслуживание и ремонт;
  - пропускную способность средств обслуживания;
  - стоимость обслуживания требований;
- $z_k$  — заранее неизвестные условия: возникновение того или иного числа требований на замену агрегатов;
- $x_m$  — решение организаторов производства: рациональный запас агрегатов, который должен поддерживаться на складе.

### 3.3.3. Определение вероятности того, что факторы $z_k$ примут те или иные значения

Вероятность того или иного события можно определить:

- расчетным путем (по формулам), если известен закон распределения вероятности;
- эмпирическим путем (например, по данным отчетности предприятия).

В нашем примере необходимо определить вероятность  $q$  того, что возникнет потребность в ремонте (замене) определенного числа агрегатов.

Расчетным путем определить вероятность можно по формуле Пуассона для случая простейшего потока требований на обслуживание (подробнее см. [2]).

Для определения вероятности эмпирическим путем необходимо изучить данные отчетности за как можно большее количество смен  $C$  и подсчитать количество смен, в которые потребность в агрегатах не возникала  $C_0$ , возникала одна потребность  $C_1$ , две  $C_2$  и т.д. Тогда

- $\frac{C_0}{C} \approx q_0$  — эмпирическая вероятность того, что требований не будет;
- $\frac{C_1}{C} \approx q_1$  — эмпирическая вероятность того, что будет одно требование и т.д.

### 3.3.4. Формирование стратегий сторон

Стратегии производства  $\Pi$  определяются числом потребных в течение смены агрегатов  $n_j$ :

- $\Pi_0$  — агрегатов не потребуется;
- $\Pi_1$  — потребуется один агрегат;
- $\Pi_2$  — потребуется два агрегата и т.д.

Общее количество стратегий  $N$  будет ограниченным — данные отчетности зафиксируют некую максимальную потребность в агрегатах, которая когда-либо возникала в течение смены.

Стратегии организаторов производства  $A$ :

- $A_0$  — не иметь запаса;
- $A_1$  — иметь в запасе один агрегат;
- $A_2$  — иметь в запасе два агрегата и т.д.

Очевидно, что количество стратегий  $A$  будет также ограничено. Во-первых, размером склада, а во-вторых, здравый смысл подсказывает, что максимальное количество агрегатов следует установить равным теоретической максимальной потребности в них, т.е.  $N$ .

Таким образом, при ограниченном количестве стратегий имеем конечную игру.

Результаты этапов 1-4 оформляются в виде таблицы 3.2.

Таблица 3.2. Стратегии сторон

| Производство (сторона $\Pi$ ) |   |                                      | Организаторы складского хозяйства (сторона $A$ ) |   |
|-------------------------------|---|--------------------------------------|--|---|
| Обозначение стратегий $\Pi_j$ | Необходимо агрегатов для замены (ремонта) $n_j$ | Вероятность данной потребности $q_j$ | Обозначение стратегий $A_i$                      | Имеется исправных агрегатов на складе $n_i$ |
| $\Pi_0$                       | 0   | $q_0$                                | $A_0$  | 0   |
| $\Pi_1$                       | 1   | $q_1$                                | $A_1$  | 1   |
| $\Pi_2$                       | 2   | $q_2$                                | $A_2$  | 2   |
| ...                           | ...   | ...                                  | ...  | ...   |
| $\Pi_N$                       | $N$   | $q_N$                                | $A_N$  | $N$   |

### 3.3.5. Определение последствий случайного сочетания стратегий сторон

В реальных условиях каждый день (смену) будет иметь место некое сочетание стратегий  $A_i$  и  $P_j$ . Это сочетание случайно. Каждому сочетанию стратегий соответствуют определенные последствия  $b_{ij}$ . Например:

- если на складе есть агрегат для замены и возникла в нем потребность, то потребность удовлетворяется и предприятие получает прибыль;
- если на складе нет агрегата, а возникла в нем потребность, то предприятие несет убыток. Для АТП это означает простой автомобиля в ремонте, то есть сокращение коэффициента технической готовности. Для СТО — потеря платы клиента за услугу, а возможно, и окончательная потеря постоянного клиента;
- если же на складе хранится слишком много агрегатов, то возможно возникновение дополнительных затрат на хранение «излишних» агрегатов, то есть предприятие несет убыток.

Выигрыш (обозначается  $b$ ) может исчисляться в рублях или каких-либо условных единицах. Может быть положительным (прибыль) и отрицательным (убыток).

Природа выигрыша  $b$  в каждом конкретном случае может быть различной, а сами величины прибыли и убытка необходимо строго обосновывать, так как от них зависит выбор оптимального решения.

Для определения последствий сочетания стратегий сторон необходимо определиться с так называемым разовым выигрышем, который имеет место при каждой из возможных производственных ситуаций. Возможные производственные ситуации и величину связанного с ними разового выигрыша заносят в таблицу 3.3.

Таблица 3.3. Условия определения выигрыша

| Ситуации  | Разовый выигрыш в условных единицах |
|---|-------------------------------------|
| 1. Хранение на складе одного фактически невостребованного агрегата      | – $B_1$                             |
| 2. Удовлетворение потребности в одном агрегате                          | + $B_2$                             |
| 3. Отсутствие необходимого для выполнения требования агрегата на складе | – $B_3$                             |

3.3.6. Определение выигрышей  $b_{ij}$  при всех возможных сочетаниях стратегий  $A_i$   $\Pi_j$ .

В данном примере таких сочетаний будет  $N \cdot N = N^2$ .

Например, сочетание стратегий  $A_1$  и  $\Pi_3$  означает, что на складе имеется один агрегат, а возникла потребность в трех агрегатах. Поэтому одну заявку можно удовлетворить и получить прибыль, равную  $B_2$ , две заявки останутся неудовлетворенными, и убыток составит  $2B_3$ , таким образом:

$$b_{13} = 1B_2 + 2(-B_3).$$

Сочетание стратегий  $A_3$  и  $\Pi_1$  означает, что на складе имеется три агрегата, а возникла потребность только в одном агрегате. Поэтому одно требование будет удовлетворено, а два агрегата останутся на складе невостребованными, то есть

$$b_{31} = 1B_2 + 2(-B_1).$$

Рассчитанные выигрыши при сочетании всех возможных стратегий сводятся в платежную матрицу (табл. 3.4).

Таблица 3.4. Платежная матрица

| Стратегии →<br>↓                         | $\Pi_0$ | $\Pi_1$ | $\Pi_2$ | ... | $\Pi_j$  | ... | $\Pi_{N-1}$ |
|--|---------|---------|---------|-----|----------|-----|-------------|
| $A_0$                                    |         |         |         |     |          |     |             |
| $A_1$                                    |         |         |         |     |          |     |             |
| $A_2$                                    |         |         |         |     |          |     |             |
| ...                                      |         |         |         |     |          |     |             |
| $A_i$                                    |         |         |         |     | $b_{ij}$ |     |             |
| ...                                      |         |         |         |     |          |     |             |
| $A_{N-1}$                                |         |         |         |     |          |     |             |
| Вероятность реализации стратегии $\Pi_j$ | $q_0$   | $q_1$   | $q_2$   | ... | $q_j$    | ... | $q_{N-1}$   |

Фактически платежная матрица — это список всех возможных альтернатив, из которых необходимо выбрать рациональную стратегию стороны  $A$ .

Строка с вероятностями реализации той или иной стратегии стороны  $\Pi$  (см. табл. 3.4) добавляется в платежную матрицу для удобства дальнейших расчетов.

### 3.3.7. Выбор рациональной стратегии организаторов производства

Выбирается стратегия  $A_i$ , при которой математическое ожидание выигрыша организаторов производства будет максимальным. Для этого вычисляют средневзвешенный выигрыш по каждой строке платежной матрицы для  $i$ -й стратегии:

$$\bar{B}_i = \sum_{j=0}^{N-1} q_j b_{ij}.$$

Расчет производится на основании данных платежной матрицы (см. табл. 3.4) и оформляется в виде матрицы выигрышей (табл. 3.5).

Таблица 3.5. Матрица выигрышей

| Стратегии →<br>↓ | $\Pi_0$ | $\Pi_1$ | $\Pi_2$ | ... | $\Pi_j$             | ... | $\Pi_{N-1}$ | $\bar{B}_i$ |
|------------------|---------|---------|---------|-----|---------------------|-----|-------------|-------------|
| $A_0$            |         |         |         |     |                     |     |             | $\Sigma$    |
| $A_1$            |         |         |         |     |                     |     |             | $\Sigma$    |
| $A_2$            |         |         |         |     |                     |     |             | $\Sigma$    |
| ...              |         |         |         |     |                     |     |             | $\Sigma$    |
| $A_i$            |         |         |         |     | $q_j \times b_{ij}$ |     |             | $\Sigma$    |
| ...              |         |         |         |     |                     |     |             | $\Sigma$    |
| $A_{N-1}$        |         |         |         |     |                     |     |             | $\Sigma$    |

Оптимальной считается такая стратегия стороны А, которая обеспечивает максимальный средний выигрыш  $\bar{B}$ .

То количество агрегатов, которое соответствует оптимальной стратегии, организаторам производства необходимо иметь на складе каждую смену. Это значение следует принять за целевой норматив для организаторов складского хозяйства. Следует понимать, что средний выигрыш, соответствующий оптимальной стратегии, будет получен предприятием за ряд смен, хотя в отдельные смены при различном сочетании стратегий  $A_i$  и  $\Pi_j$  выигрыш может быть меньше и даже становиться отрицательным.

### 3.4. Принятие решений в условиях неопределенности

В отличие от принятия решений в условиях риска, в условиях неопределенности вероятность проявления внешних факторов неизвестна.

При играх с природой наиболее распространены нижеследующие методы принятия решений в условиях неопределенности.

1. Сведение неизвестных вероятностей к известным, то есть переход к задаче принятия решений в условиях риска.

Определить неизвестные вероятности можно экспертными методами (см. практическую работу 1) или применив принцип недостаточного основания Лапласа, в соответствии с которым ни одному из  $j$  состояний природы не отдается предпочтения и для них назначается равная вероятность, то есть вероятность всех состояний равна  $1/N$ .

2. Применение специальных критериев — максиминного, минимаксного и промежуточного.

*Максиминный критерий* (Вальда) обеспечивает выбор стратегии, при которой в любых условиях гарантирован выигрыш, не меньший максиминного. Определение максиминного выигрыша основано на наиболее пессимистической оценке возможных производственных ситуаций и происходит следующим образом:

- строим платежную матрицу с дополнительным столбцом (табл. 3.6);
- просматриваем каждую строку платежной матрицы и выбираем минимальный выигрыш по каждой строке (заносим в последний столбец табл. 3.6);
- из полученных минимальных значений выбираем максимальное, которое соответствует искомой стратегии.

Таблица 3.6. Платежная матрица  
для определения минимальных и максимальных выигрышей

| Стратегии →<br>↓      | $P_0$ | $P_1$ | $P_2$ | ... | $P_j$    | ... | $P_{N-1}$ | Минимумы<br>строк |
|-----------------------|-------|-------|-------|-----|----------|-----|-----------|-------------------|
| $A_0$                 |       |       |       |     |          |     |           |                   |
| $A_1$                 |       |       |       |     |          |     |           |                   |
| $A_2$                 |       |       |       |     |          |     |           |                   |
| ...                   |       |       |       |     |          |     |           |                   |
| $A_i$                 |       |       |       |     | $b_{ij}$ |     |           |                   |
| ...                   |       |       |       |     |          |     |           |                   |
| $A_{N-1}$             |       |       |       |     |          |     |           |                   |
| Максимумы<br>столбцов |       |       |       |     |          |     |           |                   |



Максиминный критерий применяется при рискованных операциях на рынке, освоении новых ниш на рынке товаров и услуг, апробации принципиально новых технологий и изделий большой стоимости.

*Минимаксный критерий* (Сэвиджа) обеспечивает выбор такой стратегии, при которой величина риска будет минимальной в наиболее неблагоприятных производственных условиях, то есть предприятие будет гарантированно защищено от чрезмерных потерь.

Выбирая ту или иную стратегию, организаторы производства *рискуют*. Применительно к рассматриваемой ситуации *риск* — это разница между:

- максимальным выигрышем при известном состоянии производства и использовании оптимальной стратегии;
- неизвестном состоянии производства, когда могут быть применены другие стратегии  $A_i$ .

Иными словами, риск изменяется при каждом сочетании стратегий  $A_i$  и  $\Pi_j$ :

$$r_{ij} = \max(b_i) - b_{ij}.$$

Вернемся к примеру с определением рационального числа агрегатов на складе. Если бы было известно, что в очередную смену потребуется при ремонте один агрегат (реализовалась стратегия  $\Pi_1$ ), то наибольший выигрыш будет получен, если на складе имеется именно один агрегат  $b_{11} = \max(b_1)$ . Это — максимальный выигрыш при известном состоянии производства, но если фактическое состояние производства неизвестно ( $\Pi_j = ?$ ), то ему может быть противопоставлена любая из стратегий организаторов производства  $A_i$ . Например, при  $A_0$  и  $\Pi_1$ :

$$r_{01} = \max(b_1) - b_{01}.$$

Максимальный выигрыш  $\max(b_i)$  определяется как максимум столбцов платежной матрицы (см. табл. 3.6), его значения заносятся в последнюю строку таблицы.  $b_{ij}$  берется из платежной матрицы.

Все рассчитанные значения  $r_{ij}$  сводят в матрицу риска (табл. 3.7).

Таблица 3.7. Матрица риска

| Стратегии →<br>↓ | $\Pi_0$ | $\Pi_1$ | $\Pi_2$ | ... | $\Pi_j$  | ... | $\Pi_{N-1}$ | Максимальный<br>риск |
|------------------|---------|---------|---------|-----|----------|-----|-------------|----------------------|
| $A_0$            |         |         |         |     |          |     |             |                      |
| $A_1$            |         |         |         |     |          |     |             |                      |
| $A_2$            |         |         |         |     |          |     |             |                      |
| ...              |         |         |         |     |          |     |             |                      |
| $A_i$            |         |         |         |     | $r_{ij}$ |     |             |                      |
| ...              |         |         |         |     |          |     |             |                      |
| $A_{N-1}$        |         |         |         |     |          |     |             |                      |

В последний столбец матрицы риска выписывается максимальный риск по каждой строке.

Из всех стратегий организаторов производства выбирают ту, которая обеспечивает минимальное значение максимального риска.

*Промежуточный*, или критерий пессимизма-оптимизма (Гурвица), применяется в качестве компромисса между двумя рассмотренными стратегиями. При пессимизме тяготеют к стратегии, полученной с использованием максиминного критерия, а при оптимизме — минимаксного. Чем серьезнее последствия применяемых решений, тем большая доля пессимизма присутствует при выборе стратегии.

Наиболее часто выбирают стратегию, равноудаленную от стратегий, полученных с использованием максиминного и минимаксного критериев.

Обычно для больших систем свойственно достаточно плавное протекание целевой функции, при котором вокруг оптимального решения образуется широкая зона рациональных решений, придающая устойчивость самой системе.

### 3.5. Особенности принятия решений в конфликтных ситуациях

В конфликтных (антагонистических) играх сталкиваются две или несколько противоборствующих сторон, имеющих свои интересы и стремящихся улучшить свое положение за счет других. Примером может служить борьба за клиентов между АТП или СТО. Обычно множественную игру стремятся свести к серии парных, в которых участвуют две стороны, условно называемые «нападающей» А и «обороняющейся» В.

Нападающая сторона  $A$  первой предпринимает определенные действия (выпуск новых изделий, услуг, изменение ценовой политики и т.п.) и стремится получить определенный выигрыш.

В конфликтных играх, как и в играх с природой, также строят платежные матрицы (см. табл. 3.6). Но вместо стратегий природы  $P_j$ , указывают стратегии противоборствующей стороны  $B_j$ . Результаты сочетаний стратегий  $A_i B_j$  могут определяться не только денежным выигрышем, но и другими показателями. Например, изменением вероятности или времени достижения поставленной цели, увеличением (уменьшением) объемов предоставляемых услуг и т.д.

В теории игр широко распространен принцип минимакса, вытекающий из предположения о разумности сторон, стремящихся в конфликтной ситуации достигнуть цели, противоположной цели противостоящей стороны, то есть стороны действуют с осторожностью. Например, если одна сторона выбирает стратегию, она должна ориентироваться на минимальный из своих возможных максимальных выигрышей.

\* \* \*

Рассмотренный в данной теме пример с определением рационального запаса агрегатов на складе представляет собой простейший и упрощенный вариант применения игровых методов, однако хорошо подходит для иллюстрации сути и возможностей методики. В случае необходимости модель можно усложнить и тем самым приспособить для более сложных ситуаций (например, ввести в нее большее количество факторов, влияющих на величину выигрыша). Кроме того, расчеты нетрудно автоматизировать (например, с помощью широко распространенного программного продукта MS Excel) и получить инструмент, не только ускоряющий принятие решений, но и позволяющий проводить разнообразные исследования, в частности:

- оценивать влияние ряда факторов: величина разового выигрыша в различных ситуациях, вероятности реализации стратегий (колебания спроса на ремонт) в разные месяцы, сезоны, а возможно, и дни;
- найти такую цену за обслуживание, при которой предприятие работает без убытков или с заданной прибылью, что может быть особенно полезно в условиях жесткой конкуренции;

- создать базу для обоснованного материального стимулирования персонала. Например, максимальная премия организаторов складского хозяйства будет предусмотрена в том случае, если они обеспечивают запас агрегатов согласно оптимальной стратегии. Если они отклонились от оптимальной стратегии, то величина премии уменьшается пропорционально теряемому среднему выигрышу. В случае серьезного отклонения, возможно полное отсутствие премии и даже штрафные санкции против персонала. При подписании контракта на поставку агрегатов можно оговорить величины неустойки в случае срыва поставок. Размеры этих неустоек можно обосновать, используя данные о потерях предприятия в случае отсутствия агрегатов на складе, и др.

### *Задания*

1. Используя рассмотренный пример, найти рациональную стратегию организаторов складского хозяйства при заданных исходных данных в условиях риска.

2. Используя данные первой задачи, найти рациональные стратегии организаторов складского хозяйства в условиях неопределенности, применяя принцип недостаточного основания Лапласа, максиминный, минимаксный и промежуточный критерии. Сравнить полученные рациональные стратегии между собой, а также с рациональной стратегией первой задачи.

3. С использованием компьютерной техники создать инструмент (в виде документа Excel, компьютерной программы и пр.), позволяющий задавать исходные данные (см. табл. 3.2 и 3.3) и на их основе автоматически выполнять все расчеты, необходимые для выбора рациональных стратегий в условиях риска и неопределенности.

### *Порядок выполнения заданий*

1. Преподаватель задает исходные данные (см. табл. 3.2 и 3.3). Студенты выполняют необходимые расчеты, выбирают рациональную стратегию и делают выводы (выводы в письменном виде).

2. Выполняется студентами самостоятельно, выводы о результатах сравнения различных стратегий формулируются в письменной форме.

3. Выполняется студентами самостоятельно вне аудиторных занятий и не в обязательном порядке (по желанию). Активность студента и качество решения будет оцениваться и поощряться преподавателем в индивидуальном порядке.

### *Контрольные вопросы*

1. Что представляет собой целевая функция и какие группы факторов выделяют в ее составе?
2. Чем отличаются принятие решений в условиях определенности, риска и неопределенности, а также оптимальные и рациональные решения?
3. Что представляет собой игра (понятие игры, ее виды, участвующие стороны, ходы и стратегии сторон)?
4. Каков порядок принятия решений в условиях риска (кратко перечислить этапы)?
5. В чем заключается содержание первых четырех этапов принятия решений в условиях риска?
6. Как происходит определение последствий случайного сочетания стратегий сторон и что такое выигрыш?
7. Что такое платежная матрица и матрица выигрышей? Как происходит выбор рациональной стратегии в условиях риска?
8. Что представляет собой игра в условиях неопределенности и какие существуют методы принятия решений в условиях неопределенности?
9. Что представляет собой максиминный критерий и как с его помощью выбирается рациональная стратегия?
10. Что представляет собой минимаксный критерий и как с его помощью выбирается рациональная стратегия?
11. Что представляет собой промежуточный критерий и как с его помощью выбирается рациональная стратегия? Какие выводы можно сделать, если сравнить стратегии, полученные в результате применения различных методов принятия решений как в условиях риска, так и неопределенности?
12. Приведите примеры производственных ситуаций, которые можно учитывать, если доработать модель организации складского хозяйства. Какие задачи можно решать, если автоматизировать расчеты, необходимые для выбора рациональных стратегий в условиях риска и неопределенности?
13. В чем заключаются особенности принятия решений в конфликтных играх?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 4

### Моделирование методами сетевого планирования

*Цель работы:* получить навыки практического применения методов сетевого планирования для решения задач, возникающих при эксплуатации автомобильного транспорта.

#### *Основные теоретические сведения*

Сетевое планирование — метод научного планирования и управления производственными процессами на предприятиях, выполняющих большие объемы работ.

Методы сетевого планирования находят широкое применение во многих отраслях народного хозяйства, в том числе и на автомобильном транспорте.

На автомобильном транспорте методами сетевого планирования описываются процессы технического обслуживания и ремонта автомобилей, перевозочные и строительные процессы и т.д.

Процесс сетевого планирования и управления включает в себя четыре взаимосвязанных этапа.

#### **4.1. I этап — описание комплекса работ, определение их последовательности и продолжительности (трудоемкости)**

Результаты первого этапа, как правило, оформляются в виде таблицы (табл. 4.1).

*Таблица 4.1. Перечень работ, их последовательность и продолжительность*

| № п/п | Название работы | Код работы | Код предшествующей работы | Продолжительность работы, ч* |
|-------|-----------------|------------|---------------------------|------------------------------|
|       |                 |            |                           |                              |
|       |                 |            |                           |                              |

*Примечание.* \* Продолжительность работ может быть указана в любых единицах времени (часы, дни, минуты и т.п.). Выбор единицы времени зависит от характера моделируемого производственного процесса. Выбранную единицу времени необходимо использовать для всех работ процесса.

## 4.2. II этап — построение сетевого графика

Второй этап предполагает построение сетевого графика.

При построении сетевых графиков используют два логических понятия (элемента) — работа и событие.

Термин «работа» предусматривает процесс, предшествующий совершению какого-либо события. Термин «событие» выражает собой определенный результат выполнения работы (или работ).

На сетевом графике события изображают кружком, а работы — ориентированными стрелками (рис. 4.1).

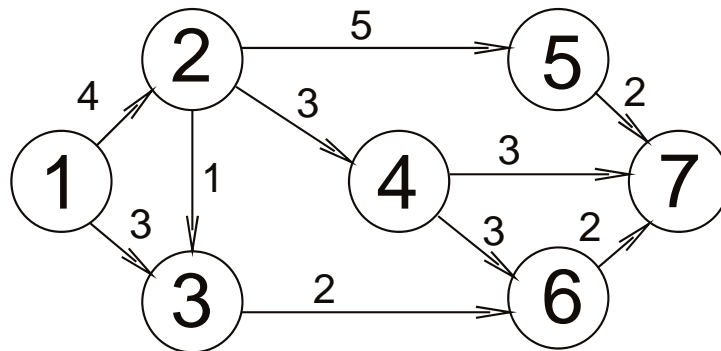


Рис. 4.1. Пример сетевого графика

Каждому событию присваивается определенный номер (обычно цифрой), т.е. 1, 2, 3 и т.д.

Каждая работа, изображенная на сетевом графике стрелкой, объединяет только два события, поэтому принято работу на сетевом графике обозначать номерами предшествующего ( $i$ -го) и последующего ( $j$ -го) событий, т.е. 1–2, 2–5, 5–7 и т.д. События сетевого графика нумеруются так, чтобы для каждой работы номер начального события был меньше, чем номер конечного.

Продолжительность работы обозначается  $L$  и проставляется над стрелками, т.е.  $L_{1-2} = 4$ ,  $L_{2-5} = 5$  и т.д.

Сетевой график представляет собой последовательность работ и событий, отражающих их технологическую взаимосвязь.

На сетевом графике выделяют два события: *начальное* (исходное) и *конечное* (завершающее). Все остальные события называются промежуточными. Исходное событие (№ 1 на рис. 4.1) отражает начало выполнения всего комплекса работ и не имеет предшествующего события. Завершающее событие (№ 7 на рис. 4.1) отражает конечную цель всего комплекса работ и не имеет последующего события.

Работа может быть трех видов:

- *фактическая работа*, т.е. трудовой процесс, приводящий к достижению определенных результатов и требующий затрат времени и ресурсов;
- *ожидание* — технологический перерыв в работе, не требующий затрат труда, но требующий затрат времени (высыхание краски, отвердевание цемента и т.д.);
- *зависимость* (фиктивная работа) — логическая связь между событиями, не требующая затрат времени и ресурсов, но показывающая, что возможность начала одной работы зависит от результатов другой.

На сетевых графиках фактическую работу и ожидание изображают сплошными стрелками, а зависимости — пунктирными.

Сетевой график строят в масштабе или без масштаба. В последнем случае обязательно над стрелками проставляют продолжительность работы в единицах времени.

Любая последовательность работ от одного события к другому (любому) называется *путь*, обозначается буквой  $L$ , и в скобках — номерами событий, через которые проходит этот путь, например:  $L(2-5-7)$ .

Длина любого пути определяется суммарной продолжительностью составляющих его работ.

*Полный путь* — это путь от исходного до завершающего события.

В сетевом графике, как правило, имеется несколько полных путей с различной продолжительностью (на рис. 4.1 имеется пять полных путей).

Полный путь, имеющий максимальную продолжительность, называют *критическим путем*  $L_{KP}$ .

Например: на рис. 4.1:  $L_{KP}(1-2-4-6-7) = 12$  единиц времени.

Работы, лежащие на критическом пути, называются критическими работами.

На сетевом графике критический путь выделяют двойными или жирными линиями.

Критический путь определяет общую продолжительность выполнения всего комплекса работ.

Полные пути, продолжительность которых меньше  $L_{KP}$ , называются *некритическими*. У них имеется резерв времени, в пределах которого время выполнения работ может быть увеличено, что не приводит к увеличению общей продолжительности наступления завершающего события.



При построении сетевых графиков необходимо учитывать нижеследующие правила.

1. Между двумя событиями на графике может находиться только одна работа (см. рис. 4.1).

2. Если одно событие служит началом нескольких работ, которые заканчиваются также в одном событии, то необходимо ввести фиктивные работы и дополнительные события со своими номерами (рис. 4.2 и 4.3).

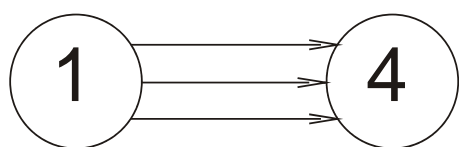


Рис. 4.2. Неправильное изображение

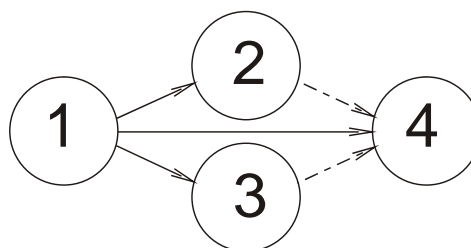


Рис. 4.3. Правильное изображение

3. Все события должны иметь последующую работу (кроме завершающего события). Также в сети не должно быть событий, в которые не входит ни одна работа (кроме исходного события). Наличие «тупиков» в сети указывает на ошибку.

4. В сетевом графике не должно быть замкнутых контуров, т.е. путей, которые начинаются и заканчиваются в одном и том же событии (1–2–3–1 на рис. 4.4).

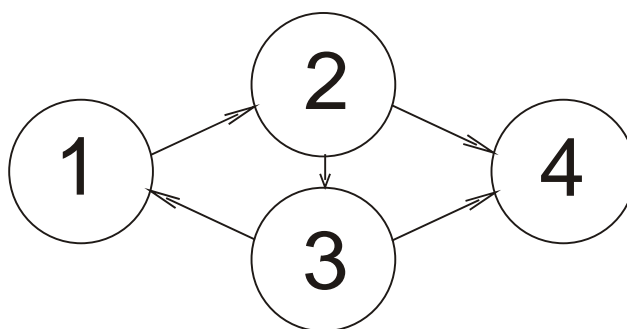


Рис. 4.4. Пример замкнутого контура

5. При построении сетевых графиков следует избегать взаимного пересечения стрелок (рис. 4.5 и 4.6).

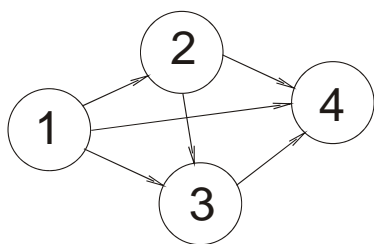


Рис. 4.5. Неправильное изображение

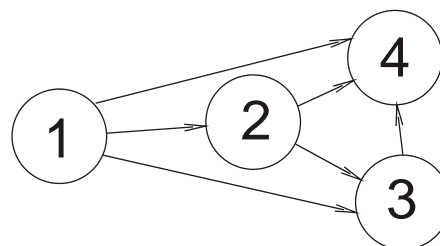


Рис. 4.6. Правильное изображение

Кроме того, при разработке сетевых графиков необходимо помнить следующее:

- ни одно событие не может произойти до тех пор, пока не будут завершены все входящие в него работы;
- ни одна работа, выходящая из данного события, не может начинаться до тех пор, пока данное событие не произойдет.

### 4.3. III этап — расчет и анализ параметров сетевого графика

На третьем этапе происходит расчет параметров сетевой модели.

#### 4.3.1. Параметры полных путей

1. Определяется количество полных путей и их продолжительность.
2. Выбирается критический путь.
3. Рассчитывается полный резерв времени каждого пути.

Полный резерв времени для  $i$ -го пути — разница между продолжительностью критического пути и продолжительностью  $i$ -го пути.

Результаты расчетов по сетевому графику (см. рис. 4.1) сводят в таблицу 4.2.

Таблица 4.2. Параметры полных путей

| № п/п | Путь      | Продолжительность пути | Резерв |
|-------|-----------|------------------------|--------|
| 1     | 1–2–5–7   | $4 + 5 + 2 = 11$       | 1      |
| 2     | 1–2–4–7   | $4 + 3 + 3 = 10$       | 2      |
| 3     | 1–2–4–6–7 | $4 + 3 + 3 + 2 = 12$   | 0      |
| 4     | 1–2–3–6–7 | $4 + 1 + 2 + 2 = 9$    | 3      |
| 5     | 1–3–5–7   | $3 + 2 + 2 = 7$        | 5      |

Повышение суммарной продолжительности всех работ  $i$ -го пути на величину резерва не увеличивает время наступления завершающего события.

#### 4.3.2. Расчет времени наступления событий

Заключается в определении ранних и поздних сроков совершения события, а также резерва времени события.

Расчет может производиться в табличной форме (см. табл. 4.2) или прямо на сетевом графике (графический метод записи).

При графическом методе (рис. 4.7) каждый кружок сетевого графика делим на четыре части (секторы).

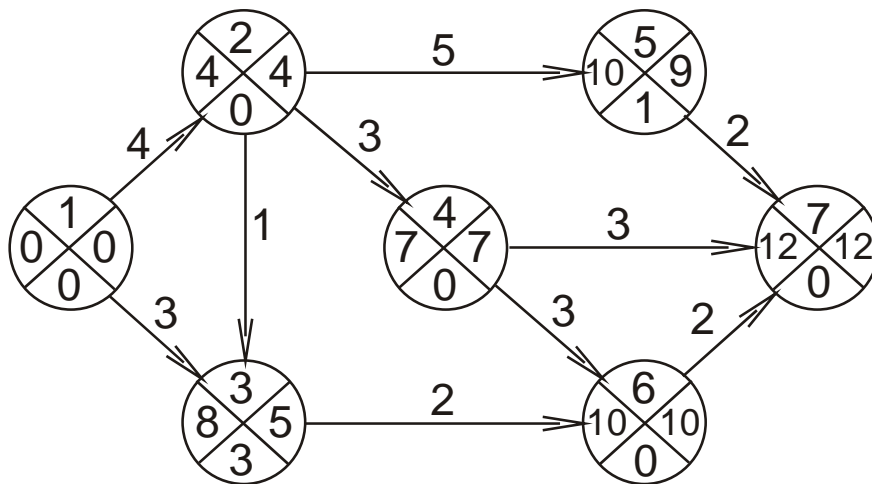


Рис. 4.7. Графический метод записи при расчете времени наступления событий

В секторах записываются следующие данные:

- верхний — номер события;
- правый — ранний срок свершения события;
- левый — поздний срок свершения события;
- нижний — резерв времени события.

При расчете *раннего срока совершения события* последовательно переходят от начального события к событию, все более от него удаленному.

Ранний срок наступления  $i$ -го события вычисляется как сумма продолжительности предшествующей работы и раннего срока наступления того события, из которого начинается предшествующая работа. Если предшествующих работ несколько (в  $i$ -е событие входят несколько стрелок), то выбирают максимальную сумму.

Для начального события ранний срок совершения принимается равным нулю.

Для конечного события сетевого графика ранний срок его наступления равен продолжительности критического пути и называется *критическим временем сетевого графика*.

*Поздний срок наступления события* рассчитывается от конца сетевого графика к началу.

Поздний срок наступления  $i$ -го события вычисляется как разность между поздним сроком наступления следующего события и продолжительностью следующей работы. Если следующих работ (и событий) несколько, то выбирается минимальная разность.

Для конечного события делается предположение, что наиболее ранний срок его наступления равен наиболее позднему сроку.

Ранний и поздний сроки наступления события определяют так называемый «допустимый срок» наступления события. Если событие наступит в пределах этого срока, то не требуется увеличения времени на осуществление всего комплекса работ.

*Резерв времени событий* — это разница между поздним и ранним сроком наступления событий.

Резерв времени всех событий, которые лежат на критическом пути, равен нулю (см. рис. 4.7).

#### 4.3.3. Расчет времени выполнения работ

*Ранний срок начала работ* равен раннему сроку наступления события, из которого исходит данная работа.

Это продолжительность пути наибольшей длины от начального события до предшествующего событию данной работы.

*Ранний срок окончания работы* определяется путем прибавления к раннему сроку начала работы продолжительности самой работы.

*Поздний срок окончания работы* равен позднему сроку наступления последующего события.

*Поздний срок начала работы* находится путем вычитания из позднего срока наступления последующего события продолжительности работы. Это самый поздний срок начала работы, который не вызывает задержки выполнения всего комплекса в целом.

*Полный резерв времени работы* — это разница между поздним и ранним сроками начала работы, он показывает время, на которое можно перенести начало данной работы (или увеличить её продолжительность), не изменяя при этом длины критического пути.

Результаты расчетов по сетевому графику (см. рис. 4.1 и 4.7) сводят в таблицу 4.3.

Таблица 4.3. Расчет времени выполнения работ

| № п/п | Код работ | Продолжительность, ч | Начало работ |         | Окончание работ |         | Полный запас времени |
|-------|-----------|----------------------|--------------|---------|-----------------|---------|----------------------|
|       |           |                      | раннее       | позднее | раннее          | позднее |                      |
| 1     | 1-2       | 4                    | 0            | 0       | 4               | 4       | 0                    |
| 2     | 1-3       | 3                    | 0            | 5       | 3               | 8       | 5                    |
| 3     | 2-3       | 1                    | 4            | 7       | 5               | 8       | 3                    |
| 4     | 2-4       | 3                    | 4            | 4       | 7               | 7       | 0                    |
| 5     | 2-5       | 5                    | 4            | 5       | 9               | 10      | 1                    |
| 6     | 3-6       | 2                    | 5            | 8       | 7               | 10      | 3                    |
| 7     | 4-6       | 3                    | 7            | 7       | 10              | 10      | 0                    |
| 8     | 4-7       | 3                    | 7            | 9       | 10              | 12      | 2                    |
| 9     | 5-7       | 2                    | 9            | 10      | 11              | 12      | 1                    |
| 10    | 6-7       | 2                    | 10           | 10      | 12              | 12      | 0                    |

*Примечание.* Содержание первых трех столбцов таблицы 4.3 должно строго соответствовать содержанию аналогичных столбцов таблицы 4.1.

#### **4.4. IV этап — оптимизация сетевого графика, контроль и оперативное управление ходом выполнения комплекса работ**

На четвертом этапе происходит оптимизация сетевой модели.

Под оптимизацией понимают процесс улучшения сетевого графика путем уменьшения общего времени выполнения работ критического пути.

Различают оптимизацию по времени и по ресурсам.

Оптимизация по времени проводится, если критический путь больше срока, установленного руководством. При этом соблюдается следующий порядок:

- 1) уточняется время выполнения работ;
- 2) сокращается время выполнения критических работ за счет совершенствования технологии их производства;

- 3) изучаются возможности замены последовательно выполняемых работ параллельными там, где это допускается технологией;
- 4) перераспределяются ресурсы с некритических на критические работы, при необходимости вводится выполнение последних в две или три смены;
- 5) привлекаются дополнительные ресурсы, а также уточняется применение технологических условий производства комплекса работ.

Если исходный вариант сетевого графика имеет продолжительность критического пути, соответствующую директивному сроку, или не превышает этот срок, то он считается оптимальным и может быть рекомендован к утверждению и выполнению.

*Оптимизация по ресурсам* проводится после оптимизации по времени в случае, когда ресурсы ограничены. Оптимизация сетевого графика по времени без учета ограничений по ресурсам предполагает, что потребность в ресурсах может быть установлена в необходимые сроки.

При надлежащем выполнении всех этапов сетевого планирования обеспечивается:

- четкое представление об общем объеме комплекса работ;
- наглядность технологической последовательности работ;
- распределение средств и рабочей силы, что создает условия для наилучшего использования ресурсов;
- возможность составить оперативные и текущие планы, прогнозировать сложные процессы, выявлять «узкие места» производства;
- возможность сократить потери времени при выполнении всего комплекса работ;
- возможность выбрать оптимальный вариант выполнения работ.

### *Задание*

Применить методы сетевого планирования для следующих производственных процессов:

- 1) перевозка грузов автомобильным транспортом;
- 2) ремонт автомобилей.

### *Порядок выполнения задания*

Для каждого процесса необходимо выполнить все этапы сетевого планирования, как это описано в теоретической части (там же смотрите примеры). На первом этапе перечень работ и их продолжительность определяются преподавателем. На последнем этапе, исходя из особенностей каждой сетевой модели, студент должен самостоятельно сформулировать направления их оптимизации, привести конкретные примеры реализации тех или иных мероприятий.

Отчет по работе должен содержать все необходимые графики и таблицы. Направления оптимизации и конкретные примеры записываются в текстовом виде.

### *Контрольные вопросы*

1. Каковы этапы сетевого планирования и их краткое содержание?
2. Что представляют собой элементы сетевого графика? Как они обозначаются и изображаются графически?
3. Что такое *путь* (виды путей, их параметры, принятые обозначения и графическое изображение)?
4. Каковы правила построения сетевых графиков?
5. Как происходит расчет времени наступления событий?
6. Как происходит расчет времени выполнения работ?
7. В чем заключается оптимизация сетевой модели?
8. Какие возможности обеспечивает применение сетевого планирования?





Линейное программирование используется при решении широкого круга задач автомобильного транспорта. Одну из таких задач мы подробно рассмотрим.

## 5.2. Задача оптимизации грузопотоков (транспортная задача)

Методами линейного программирования решаются задачи оптимизации грузопотоков. В частности, можно установить оптимальное закрепление потребителей груза за поставщиками, выбрать наименее затратные маршруты перевозок грузов, решить вопросы рационального распределения автомобильного парка предприятия по нескольким филиалам и др.

В качестве критериев оптимальности принимают пробег подвижного состава, время доставки груза, денежные или трудовые затраты.

Транспортная задача является частным случаем задачи линейного программирования и формулируется следующим образом.

Имеется  $m$  поставщиков  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , которые располагают запасами однородного груза в объемах  $a_1, a_2, \dots, a_m$  тонн. Также имеется  $n$  потребителей  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , которым необходимо завести  $b_1, b_2, \dots, b_n$  тонн груза. Известны расстояния между всеми грузопунктами  $L_{ij}$ , где  $i$  — индекс поставщика,  $j$  — индекс потребителя. Необходимо так закрепить поставщиков за потребителями ( $x_{ij}$  — количество тонн груза, которые поставляет  $i$ -й поставщик  $j$ -му потребителю), чтобы затраты на перевозку были минимальны<sup>1</sup>.

Исходя из формулировки и принятых обозначений, математическую модель транспортной задачи можно записать так:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i, & i &= 1, 2, \dots, m; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j, & j &= 1, 2, \dots, n; \\ x_{ij} &\geq 0, & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} L_{ij} &\rightarrow \min. \end{aligned}$$

---

<sup>1</sup> Здесь предполагается, что расстояния перевозок прямо пропорциональны затратам на перевозку (в большинстве случаев так и есть). Однако ничего не мешает вместо расстояний использовать непосредственно стоимости перевозок.

Обычно исходные данные транспортной задачи представляются в виде табл. 5.1.

Таблица 5.1. Исходные данные транспортной задачи

| Пункты отправления | Пункты назначения    |                      |     |                      | Запасы $a_i$                          |
|--------------------|----------------------|----------------------|-----|----------------------|---------------------------------------|
|                    | $B_1$                | $B_2$                | ... | $B_n$                |                                       |
| $A_1$              | $L_{11}$<br>$x_{11}$ | $L_{12}$<br>$x_{12}$ | ... | $L_{1n}$<br>$x_{1n}$ | $a_1$                                 |
| $A_2$              | $L_{21}$<br>$x_{21}$ | $L_{22}$<br>$x_{22}$ | ... | $L_{2n}$<br>$x_{2n}$ | $a_2$                                 |
| ...                | ...                  | ...                  | ... | ...                  | ...                                   |
| $A_m$              | $L_{m1}$<br>$x_{m1}$ | $L_{m2}$<br>$x_{m2}$ | ... | $L_{mn}$<br>$x_{mn}$ | $a_m$                                 |
| Потребности $b_j$  | $b_1$                | $b_2$                | ... | $b_n$                | $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ |

Поиск решения принято проводить симплекс-методом, приспособленным под конкретные особенности транспортной задачи. В решении выделяют три этапа:

- 1) определение первоначального плана перевозок;
- 2) проверка полученного плана на оптимальность. Если план оптимален, то решение заканчивается. Если не оптимален, то выполняется этап 3;
- 3) переход к новому плану, который лучше предыдущего. Далее выполняется этап 2.

Сколько раз потребуется выполнить этапы 2 и 3, прежде чем будет получен оптимальный план, в значительной степени зависит от качества первоначального плана, т.е. степени его приближенности к оптимальному.

### 5.3. Составление первоначального плана перевозок

Первоначальный план перевозок может быть установлен различными методами, наиболее распространенными из которых являются:

- метод северо-западного угла;
- метод наименьшей стоимости;
- метод Вогеля.

Методы перечислены в порядке возрастания их сложности, но вместе с тем повышается и качество полученных первоначальных планов.

Метод северо-западного угла. Первому потребителю предоставляется максимально возможное количество груза за счет первого поставщика (исходя из потребностей потребителя и возможности поставщика). Если первый потребитель удовлетворен полностью, а у первого поставщика остался груз, то остаток передается второму потребителю и т.д. В случае, если первый потребитель удовлетворен не полностью, то он удовлетворяется за счет второго поставщика и т.д. То есть заполнение клеток происходит от северо-западного угла таблицы 5.1 без учета стоимости перевозки. Этот метод отличается простотой, но полученный первоначальный план, как правило, далек от оптимального. В таблице 5.2 представлен пример, в котором первоначальный план определен методом северо-западного угла.

*Таблица 5.2. Пример транспортной задачи с определением первоначального плана методом северо-западного угла*

| Пункты отправления | Пункты назначения |       |       |       | Запасы |
|--------------------|-------------------|-------|-------|-------|--------|
|                    | $B_1$             | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ |        |
| $A_1$              | 7                 | 9     | 10    | 5     | 75     |
|                    | 60                | 15    |       |       |        |
| $A_2$              | 5                 | 10    | 9     | 6     | 75     |
|                    |                   | 45    | 30    |       |        |
| $A_3$              | 7                 | 6     | 9     | 7     | 50     |
|                    |                   |       | 10    | 40    |        |
| Потребности        | 60                | 60    | 40    | 40    | 200    |

Метод наименьшей стоимости. В таблице выбирается клетка с наименьшей стоимостью (если таких клеток несколько, то одна из них выбирается в случайном порядке). В эту клетку вписывается максимально возможное количество груза. Далее производится корректировка оставшихся объемов предложения и спроса для столбца и строки, в которых располагалась клетка. При корректировке в пределах столбца и строки предпочтение также отдается клеткам с наименьшей стоимостью. Таким образом, как минимум, по одному потребителю и поставщику объемы будут уравновешены. После этого выбирается следующая клетка таблицы с минимальной

стоимостью (в которую еще можно поместить груз), и процесс повторяется. Если использовать те же начальные данные, что и в рассмотренном выше примере (см. табл. 5.2), то методом наименьшей стоимости будет получен начальный план, представленный в табл. 5.3 (процесс заполнения начался в ячейке  $A_1B_4$ ).

Таблица 5.3. Пример транспортной задачи с определением первоначального плана методом наименьшей стоимости

| Пункты отправления | Пункты назначения |          |         |         | Запасы |
|--------------------|-------------------|----------|---------|---------|--------|
|                    | $B_1$             | $B_2$    | $B_3$   | $B_4$   |        |
| $A_1$              | 7<br>35           | 9        | 10      | 5<br>40 | 75     |
| $A_2$              | 5<br>25           | 10<br>10 | 9<br>40 | 6       | 75     |
| $A_3$              | 7                 | 6<br>50  | 9       | 7       | 50     |
| Потребности        | 60                | 60       | 40      | 40      | 200    |

На основании данных, приведенных в таблице 5.2, целевая функция будет равна 1645, а по данным таблицы 5.3 — 1330.

Выбор предпочтительных ячеек первоначального плана методом *Вогеля* [11] основан на так называемой «штрафной стоимости».

#### 5.4. Проверка плана на оптимальность

Проверка плана на оптимальность может осуществляться различными методами. В данной теме мы рассмотрим метод потенциалов.

Потенциал определяется для незанятых ячеек таблицы с целью установить, какие из них являются более предпочтительными по сравнению с занятыми ячейками. Если более предпочтительных нет, значит, план оптимален, а если есть, план можно улучшить путем перераспределения груза из занятых ячеек в ячейку, обладающую потенциалом.

Для определения потенциалов необходимо определить общую стоимость каждой строки и столбца таблицы. Стоимость ячейки можно условно разбить на две составляющие:

$$L_{ij} = U_i + V_j, \quad (5.3)$$

где  $U_i$  — часть стоимости по  $i$ -й строке (поставщику);

$V_j$  — часть стоимости по  $j$ -му столбцу (потребителю).

Выполнив такое разбиение для всех занятых ячеек таблицы, получим систему уравнений, из которых можно определить общие значения  $U_i$  и  $V_j$ , то есть общие цены строк и столбцов.

Поясним сказанное на примере, используя данные таблицы 5.3. Имеем 6 занятых ячеек, для которых можно составить соответствующие уравнения:

$$\begin{array}{ll} A_1B_1 & L_{11} = U_1 + V_1; \\ A_1B_4 & L_{14} = U_1 + V_4; \\ A_2B_1 & L_{21} = U_2 + V_1; \\ A_2B_2 & L_{22} = U_2 + V_2; \\ A_2B_3 & L_{23} = U_2 + V_3; \\ A_3B_2 & L_{32} = U_3 + V_2. \end{array}$$

Стоимости занятых ячеек известны. Из уравнений можно без труда определить значения общих стоимостей строк и столбцов. Одну из стоимостей (любую) можно принять самостоятельно (обычно принимают равной нулю).

Для нашего примера примем  $V_1 = 0$  и получим:

$$\begin{array}{l} U_1 = 7 - 0 = 7; \\ V_4 = 5 - 7 = -2; \\ U_2 = 5 - 0 = 5; \\ V_2 = 10 - 5 = 5; \\ V_3 = 9 - 5 = 4; \\ U_3 = 6 - 5 = 1. \end{array}$$

Потенциал  $C_{ij}$  незанятой ячейки таблицы определяется исходя из ее цены и общей цены строки и столбца, на пересечении которых находится ячейка, а именно:

$$C_{ij} = (U_i + V_j) - L_{ij}. \quad (5.4)$$

Для расчета и наглядного представления  $U_i$ ,  $V_j$  и  $C_{ij}$  используют форму таблицы, аналогичную форме табл. 5.4. Обычно уравнения (5.3) для занятых ячеек не составляются, а используется непосредственно табл. 5.4. В кружках представлены рассчитанные по формуле (5.4) потенциалы пустых ячеек.

Таблица 5.4. Определение общих стоимостей строк и столбцов, а также потенциала пустых ячеек для первоначального плана

| Пункты отправления | Общ. стоим.          | Пункты назначения |       |       |       | Запасы |
|--------------------|----------------------|-------------------|-------|-------|-------|--------|
|                    |                      | $B_1$             | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ |        |
|                    | $U_i \backslash V_j$ | 0                 | 5     | 4     | -2    |        |
| $A_1$              | 7                    | 35                | 7     | 9     | 10    | 5      |
| $A_2$              | 5                    | 25                | 5     | 10    | 9     | 6      |
| $A_3$              | 1                    | 7                 | 6     | 9     | 7     | 50     |
| Потребности        |                      | 60                | 60    | 40    | 40    | 200    |

Если  $C_{ij} \leq 0$ , то использование пустой ячейки не может улучшить план (она не обладает потенциалом), в противном случае — может. Следовательно, если нет ячеек с положительным потенциалом, план является оптимальным, а если есть хотя бы одна ячейка с положительным потенциалом, план является не оптимальным и необходимо искать лучший план.

В нашем примере (табл. 5.4) есть две ячейки с потенциалами больше нуля ( $C_{12} = 3$ ,  $C_{13} = 1$ ), поэтому план не является оптимальным и его можно улучшить.

### 5.5. Получение улучшенного плана перевозок

Для получения нового плана перевозок, который лучше текущего, необходимо перераспределить груз из занятых ячеек таблицы в пустую ячейку, обладающую наибольшим положительным потенциалом. Поскольку сумма поставок по строкам и столбцам должна остаться неизменной, причем в результате перераспределения одна из занятых ячеек должна стать свободной, составляют «цикл пересчета».

Продолжим рассматривать пример (табл. 5.5). Замкнутая линия, проходящая через ячейки  $A_1B_2 \rightarrow A_1B_1 \rightarrow A_2B_1 \rightarrow A_2B_2$ , и есть цикл пересчета. Мы не направили цикл через ячейку  $A_1B_4$ , потому что в столбце  $B_4$  больше нет занятых ячеек и нам нечем было бы компенсировать вычитание из ячейки  $A_1B_4$ . В некоторых случаях замкнутая линия может иметь более сложную конфигурацию, чем в таблице 5.5, но сути это не меняет. В ячейках, через которые проходит цикл пересчета, проставляют знаки «+» и «-», указывая

тем самым ячейки, в которые следует прибавлять, и ячейки, из которых следует вычитать груз. Начинают со знака «+» в пустой ячейке с потенциалом, затем, двигаясь по циклу пересчета, знаки чередуют. Минимальная величина в ячейках со знаком «-» и есть та величина, на которую следует произвести пересчет. В табл. 5.5 это 10 тонн груза (меньше нельзя, иначе в ячейке  $A_2B_2$  после вычитания останется отрицательная величина).

Таблица 5.5. Цикл пересчета

| Пункты отправления | Общ. стоим. | Пункты назначения |          |         |         | Запасы |
|--------------------|-------------|-------------------|----------|---------|---------|--------|
|                    | $V_j$       | $B_1$             | $B_2$    | $B_3$   | $B_4$   |        |
|                    | $U_i$       | 0                 | 5        | 4       | -2      |        |
| $A_1$              | 7           | 7<br>35           | 9<br>10  | 10      | 5<br>40 | 75     |
| $A_2$              | 5           | 5<br>25           | 10<br>10 | 9<br>40 | 6       | 75     |
| $A_3$              | 1           | 7                 | 6<br>50  | 9       | 7       | 50     |
| Потребности        |             | 60                | 60       | 40      | 40      | 200    |

После того как мы прибавим 10 к ячейкам, отмеченным знаком «+» и отнимем 10 от ячеек, отмеченным знаком «-», план распределения груза примет следующий вид (табл. 5.6).

Таблица 5.6. План после первого перераспределения груза

| Пункты отправления | Общ. стоим. | Пункты назначения |         |         |         | Запасы |
|--------------------|-------------|-------------------|---------|---------|---------|--------|
|                    | $V_j$       | $B_1$             | $B_2$   | $B_3$   | $B_4$   |        |
|                    | $U_i$       | 0                 | 5       | 4       | -2      |        |
| $A_1$              | 7           | 7<br>25           | 9<br>10 | 10      | 5<br>40 | 75     |
| $A_2$              | 5           | 5<br>35           | 10      | 9<br>40 | 6       | 75     |
| $A_3$              | 1           | 7                 | 6<br>50 | 9       | 7       | 50     |
| Потребности        |             | 60                | 60      | 40      | 40      | 200    |

Целевая функция приняла значение 1300, следовательно, план улучшился на 30 единиц (см. табл. 5.3). Этот план следует проверить на оптимальность и в случае необходимости составить еще один цикл пересчета и т.д.

В заключение отметим, что существует множество модификаций транспортной задачи. Например:

- спрос (потребности получателей) и предложение (возможности поставщиков) не совпадают;
- часть маршрутов по каким-то соображениям является недопустимыми;
- необходимо максимизировать прибыль от перевозок и др.

Разработаны различные способы, с помощью которых можно решать подобные модифицированные задачи.

### *Задание*

Решить две-три транспортные задачи с различными начальными условиями, применяя разные методы определения первоначального плана перевозок.

### *Порядок выполнения задания*

Исходные данные для транспортных задач задает преподаватель, поиск оптимального решения осуществляется студентами самостоятельно, согласно описанной выше методике.

### *Контрольные вопросы*

1. Что такое линейное программирование и как в общем виде формулируется задача линейного программирования?
2. Сформулируйте транспортную задачу и запишите ее математическую модель.
3. На какие производственные вопросы можно найти ответ, решая транспортную задачу? Какова форма представления исходных данных для транспортной задачи и основные этапы ее решения?
4. Каким образом происходит составление первоначального плана перевозок?
5. Каким образом происходит проверка плана перевозок на оптимальность?
6. Как осуществляется переход к новому, более лучшему плану перевозок?



## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

### *Основная литература*

1. Коновалов С.И. Моделирование производственных процессов автомобильного транспорта : учеб. пособие / С.И. Коновалов, С.А. Максимов, В.В. Савин. — Владимир : изд. Владим. гос. ун-та, 2006. — 244 с.
2. Кузнецов Е.С. Управление техническими системами : учеб. пособие. — М. : МАДИ (ТУ), 2003. — 247 с.
3. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. — изд. 2-е. — М. : Транспорт, 1990. — 272 с.
4. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов / под ред. Е.С. Кузнецова. — М. : Наука, 2001. — 535 с.

### *Дополнительная литература*

5. Геронимус Б.Л. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте / Б.Л. Геронимус. — М. : Транспорт, 1977. — 160 с.
6. Денисова А.Л., Зайцев Е.В. Теория и практика экспертной оценки товаров и услуг : учеб. пособие. — Тамбов : изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. — 72 с.
7. Кожин А.Н. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками / А.Н. Кожин и др. — М. : Транспорт, 1994. — 304 с.
8. Максимов С.А. Математическое моделирование. Прикладные задачи : учеб. пособие / А.С. Максимов. — Владимир, 1997. — 192 с.
9. Управление техническими системами : методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. С.А. Ширяев, А.А. Раюшкина, О.В. Устинова. — Волгоград : Волгоград. гос. техн. ун-т, 2001. — 20 с.
10. Филипс Д. Методы анализа сетей / Д. Филипс, А. Гарсия-Диас. — М. : Мир, 1984. — 496 с.
11. Экономико-математические методы. Математические методы и модели в экономике / сост. Р.Н. Аксенова. — Владивосток, ДВГАЭУ, 2001.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

*Критические значения распределения  $\chi^2$  в зависимости от уровня значимости  $\alpha$  и числа степеней свободы  $f$  (правосторонняя критическая область)*

| Число степеней свободы $f$ | Уровень значимости $\alpha$ |      |      |      |
|----------------------------|-----------------------------|------|------|------|
|                            | 0,01                        | 0,05 | 0,10 | 0,20 |
| 1                          | 6,3                         | 3,8  | 2,7  | 1,6  |
| 2                          | 9,2                         | 5,9  | 4,0  | 3,2  |
| 3                          | 11,3                        | 7,8  | 6,2  | 4,6  |
| 4                          | 13,2                        | 9,4  | 7,7  | 5,9  |
| 5                          | 15,0                        | 11,0 | 9,2  | 7,2  |
| 6                          | 16,8                        | 12,5 | 10,6 | 8,5  |
| 7                          | 18,4                        | 14,0 | 12,0 | 9,8  |
| 8                          | 20,0                        | 15,5 | 13,3 | 11,0 |
| 9                          | 21,6                        | 16,9 | 14,6 | 12,2 |
| 10                         | 23,2                        | 18,3 | 15,9 | 13,4 |
| 11                         | 24,7                        | 19,6 | 17,2 | 14,6 |
| 12                         | 26,2                        | 21,0 | 18,5 | 15,8 |
| 13                         | 27,6                        | 22,3 | 19,8 | 16,9 |
| 14                         | 29,1                        | 23,6 | 21,0 | 18,1 |
| 15                         | 30,5                        | 24,9 | 22,3 | 19,3 |

*Учебно-практическое издание*

**Управление техническими системами** : сборник описаний практических работ для студентов специальности 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» очной формы обучения / сост. И.А. Колегаев. — Кострома : КГСХА, 2008. — 66 с.

Гл. редактор Н.В. Киселева  
Редактор выпуска Т.В. Тарбеева  
Корректор М.М. Мазина