МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Омский государственный технический университет»

Н. Г. Эйсмонт, В. В. Даньшина, С. В. Бирюков

ОСНОВЫ ПРИНЯТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Учебное текстовое электронное издание
локального распространения

*Рекомендовано редакционно-издательским советом
Омского государственного технического университета*

Омск
Издательство ОмГТУ
2021

Сведения об издании: 1, 2

© ОмГТУ, 2021

ISBN 978-5-8149-3387-4

УДК 620.3(075)
ББК 30.600.3я73
Э33

Рецензенты:

М. П. Ланкина, д-р пед. наук, профессор ОмГУ им. Ф. М. Достоевского;

А. В. Тюкин, канд. техн. наук, доцент СибАДИ

Эйсмонт, Н. Г. Основы принятия технических решений : учеб. пособие / Н. Г. Эйсмонт, В. В. Даньшина, С. В. Бирюков ; Минобрнауки России, Ом. гос. техн. ун-т. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2021. – 1 CD-ROM (1,30 Мб). – Систем. требования: процессор с частотой 1,3 ГГц и выше ; 256 Мб RAM и более ; свободное место на жестком диске 300 Мб и более ; Windows XP и выше ; разрешение экрана 1024×768 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – Загл. с титул. экрана. – ISBN 978-5-8149-3387-4.

В учебном пособии изложены основные понятия теории принятия решений и основы системного подхода к описанию технических объектов и принятию решений. Приведены способы решения изобретательских задач.

Разработано в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования и предназначено для обучающихся по направлению 28.03.02 «Наноинженерия», а также для студентов других технических направлений.

Редактор *Е. Н. Завьялова*

Компьютерная верстка *О. Г. Белименко*

Для дизайна этикетки использованы материалы, предоставленные авторами

Сводный темплан 2021 г.
Подписано к использованию 01.12.21.
Объем 1,30 Мб.

© ОмГТУ, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Любой человек в жизни постоянно сталкивается с ситуациями, в которых ему необходимо делать выбор или принимать какие-то решения. Иногда мы делаем это легко и непринужденно, даже не замечая, но бывают ситуации, когда приходится выбирать из альтернатив с противоречивыми требованиями или речь идет о масштабных решениях.

Еще более сложной задача становится, если речь идет о принятии решений в области науки и техники. При проведении научных исследований и технических изысканий инженеру приходится ежедневно принимать решения, генерировать идеи, оценивать и выбирать лучший вариант. При этом необходимо учесть большое число параметров, ограничения к объектам исследования и выбрать из многих вариантов наилучший по многим критериям.

Технические решения очень тесно переплетены с экономическими. Таким образом, нужно владеть информацией в различных областях знаний, но, даже владея всей необходимой информацией, принятие окончательного решения становится трудным волевым актом.

Курс дисциплины «Основы принятия технических решений» направлен на ознакомление с основными понятиями и терминами теории принятия решений, некоторыми математическими методами выбора оптимального решения, а также способами нахождения решений в нестандартных технических и изобретательских задачах.

Данное учебное пособие ориентировано на студентов технических направлений подготовки.

ТЕМА 1. ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

Разберем основные термины теории принятия решения. **Задача принятия решений (ЗПР)** заключается в определении наилучшего способа действий для достижения поставленных целей. Под целью понимается идеальное представление желаемого состояния или результата деятельности. Если фактическое состояние не соответствует желаемому, то имеет место проблема. Выработка плана действий по устранению проблемы составляет сущность задачи принятия решений.

Субъектом всякого решения является **лицо, принимающее решение (ЛПР)**. Понятие ЛПР является собирательным. Это может быть одно лицо – индивидуальное ЛПР – или группа лиц, вырабатывающих коллективное решение, – групповое ЛПР.

Для помощи ЛПР в сборе и анализе информации и формировании решений привлекаются **эксперты** – специалисты по решаемой проблеме. Понятие эксперта в теории принятия решений трактуется в широком смысле и включает сотрудников аппарата управления, подготавливающих решение, ученых и практиков.

Принятие решений происходит во времени, поэтому вводится понятие **процесса принятия решений**. Этот процесс состоит из последовательных этапов и процедур и направлен на устранение проблемной ситуации. В процессе принятия решений формируются альтернативные (взаимоисключающие) варианты решений и оценивается их предпочтительность.

Предпочтение – это интегральная оценка качества решений, основанная на объективном анализе (знании, опыте, проведении экспериментов и расчетов) и субъективном понимании ценности, эффективности решений.

Для осуществления выбора наилучшего решения индивидуальное ЛПР определяет **критерий выбора**. Групповое ЛПР производит выбор на

основе **принципов согласования** (например, правила большинства голосов, принципа наложения вето, принципа диктатора и других).

Весь процесс решения проблем и задач можно условно разбить на несколько этапов, при необходимости выполняемых одновременно, параллельно, итерационно (с возвратом к исполнению предыдущих этапов):

1. Ситуационный анализ (анализ проблемной ситуации).
2. Идентификация проблемы и постановка цели.
3. Поиск необходимой информации.
4. Формирование множества возможных решений.
5. Формирование критериев оценки решений.
6. Разработка индикаторов и критериев для мониторинга реализации решений.
7. Проведение оценки решений.
8. Выбор наилучшего решения.
9. Планирование.
10. Реализация.
11. Мониторинг реализации.
12. Оценка результата.

При этом выполнение всего процесса и этапов осуществляется рационально обоснованным способом.

В психологии существует также такое понятие, как волевое решение: решение, принимаемое усилием воли. Обычно волевое решение принимается в спорной ситуации, когда есть несколько сценариев развития ситуации и необходимо выбрать один из них, при этом явного выигрышного среди них нет, и необходимо принятие волевого решения, после которого выбор второго сценария становится малореальным. Чаще всего волевые решения принимают люди, занимающие достаточно высокие должности и имеющие некоторую свободу выбора. При этом они руководствуются своими знаниями, опытом и интуицией.

Конечный результат ЗПР – **решение**, которое представляет собой предписание к действию, инструкцию.

С содержательной точки зрения решением может быть способ действия, план работы, вариант проекта и т. п. Решение является одним из видов мыслительной деятельности и проявлением воли человека и имеет свои характерные признаки.

Решение называется **допустимым**, если оно удовлетворяет ограничениям: ресурсным, правовым, морально-этическим. Решение называется **оптимальным (наилучшим)**, если оно обеспечивает экстремум (максимум или минимум) критерия выбора при индивидуальном ЛПР или удовлетворяет принципу согласования при групповом ЛПР.

Обобщенной характеристикой решения является его **эффективность**.

Эффективность решения (ЭР) – это степень достижения целей (СДЦ, измеряемая в процентах от максимума), отнесенная к затратам на их достижение (ЗД, измеряемым в денежных единицах):

$$\text{ЭР} = \frac{\text{СДЦ}}{\text{ЗД}}.$$

Решение тем эффективнее, чем больше степень достижения целей и меньше стоимость затрат. Чтобы принять решение в пользу одной из альтернатив, необходимо определить количественные показатели ЭР во всех случаях и выбрать альтернативу с максимальным значением ЭР.

Существует несколько различных трактовок понятия «техническое решение» (ТР). Вот некоторые из них, взятые из большого энциклопедического политехнического словаря [5]:

Техническое решение – это устройство, сооружение, изделие, являющееся конструктивным элементом или совокупностью таковых, находящихся в функционально-конструктивном единстве.

Техническое решение – это способ, процесс выполнения взаимосвязанных действий с материальным объектом и с помощью материальных объектов.

Техническое решение – это вещество, материал, искусственно созданное образование, являющееся совокупностью связанных элементов, ингредиентов.

Техническое решение – это определение пути решения той или иной технической задачи, находящееся в строгих рамках и требованиях.

Требования к техническому решению определяются масштабом решаемой задачи и описываются в технической документации, а также регламентируются ГОСТами. Так, например, если задача небольшая, то ТР может представлять собой простое словесное описание объекта или чертеж.

Стандартно ТР конкретного технического объекта (ТО) описывают через его характерные признаки в целом и признаки отдельных элементов, разделяя их на следующие группы:

1. Перечень основных элементов.
2. Взаимное расположение элементов в пространстве.
3. Способы и средства соединения элементов между собой.
4. Последовательность взаимодействия элементов во времени.
5. Особенности конструктивного исполнения элементов (геометрическая форма, материал, …).
6. Принципиально важные соотношения параметров для ТО в целом или отдельных элементов.

ТР представляет собой безразмерное описание ТО, которое может иметь различные параметры (размеры элементов, количественные характеристики входных и выходных потоков, …).

Технические решения можно систематизировать по разным признакам. Пример систематизации приведен в табл. 1.1.

Опишем подробнее некоторые из представленных в таблице признаков.

Первый признак – ***жизненный цикл продукта*** – представляет собой последовательность этапов, с зарождения идеи о продукте на основании потребностей общества до его утилизации.

Таблица 1.1

<table>
<tr><td rowspan="4"></td><td colspan="8">По этапам жизненного цикла продукта</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr>
<tr><td colspan="8">По этапам жизненного цикла предприятия</td></tr>
<tr><td colspan="2">1</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr>
<tr><td rowspan="11">Масштабные ТР</td><td colspan="8">По степени новизны решений</td><td rowspan="11">Локальные ТР</td></tr>
<tr><td colspan="4">Создается принципиально новый технический продукт</td><td colspan="4">Корректирующие решения, принимаемые в текущей деятельности для повышения эффективности производства</td></tr>
<tr><td colspan="8">По широте зоны принимаемых решений</td></tr>
<tr><td colspan="4">По отношению к комплексу объектов</td><td colspan="4">По отношению к отдельному объекту</td></tr>
<tr><td colspan="8">По значительности инвестиционных затрат</td></tr>
<tr><td colspan="4">Значительная сумма капиталовложений</td><td colspan="4">Незначительная сумма капиталовложений</td></tr>
<tr><td colspan="8">По продолжительности ожидаемого срока окупаемости</td></tr>
<tr><td colspan="4">Более 2 лет</td><td colspan="4">Не более 2 лет</td></tr>
<tr><td colspan="8">По масштабности</td></tr>
<tr><td colspan="4">Соответствуют описанию вышеперечисленных признаков в левом столбце</td><td colspan="4">Соответствуют описанию вышеперечисленных признаков в правом столбце</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td colspan="8">По количеству рассматриваемых альтернативных решений</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">Безальтернативные</td><td colspan="4">Имеющие одну или несколько альтернатив</td></tr>
</table>

Список состоит из восьми этапов и выглядит следующим образом:

1) формулирование идеи о новом продукте;
2) маркетинговые исследования;
3) проектирование продукта;
4) техническая подготовка производства;
5) производство и тестирование;
6) продажа;

7) эксплуатация в сфере использования;

8) утилизация.

Первый этап осуществляется один раз. Следующие три этапа в полной мере также осуществляются однажды, когда разрабатывается новый продукт, затем повторяются периодически, по мере корректировки конструкции и создания новых модификаций продукта. Прочие этапы проходит каждая единица продукта.

Второй признак разделения технических решений на группы связан с ***этапами жизненного цикла предприятия***.

Выделяют следующие этапы:

1) создание нового бизнеса;

2) внедрение на рынок;

3) стадию роста;

4) зрелость;

5) спад;

6) обновление деятельности.

Каждому этапу соответствует своя стратегия и программа действий.

Приведем примеры технических решений, принимаемых на разных этапах жизненного цикла предприятия.

1. Старт.

Выбор продукта (услуги), пользующегося спросом, или новый продукт, соответствующий выявленной потребности. Инженерные решения: разработка конкурентоспособной конструкции или адаптация имеющихся разработок к своей ситуации и поставленным задачам. Разработка процесса изготовления и выбор необходимых средств производства с учетом жестких финансовых ограничений.

Цель – проникнуть на рынок. Проблема – убыточная деятельность при больших затратах и низких доходах.

2. Внедрение на рынок.

Наибольшую значимость имеют грамотные финансовые и инвестиционные решения.

Инженерные решения – обеспечение максимального режима экономии, наименьшего уровня затрат без потери запланированного уровня качества продукта, организация процессов послепродажного обслуживания производимой продукции, если это приводит к росту конкурентоспособности.

3. Рост.

Цель – привлечь и заинтересовать потребителя. Инженерные решения: доработка конструкции и совершенствование процессов с учетом начального опыта производства и работы на рынке, обеспечение наличия у продукта конкурентоспособных характеристик (качество, особые потребительские свойства и (или) низкая себестоимость изготовления, что позволит продавать продукт по более низкой цене); приобретение дополнительных средств производства, обеспечивающих увеличение объема деятельности; техобслуживание и замена в соответствии со сроками службы имеющихся средств производства.

4. Зрелость.

Цель – расширение деятельности.

Инженерные решения: разработка новых продуктов и процессов их изготовления, решения по выбору соответствующих машин и оборудования, основных материалов; решения по поддержанию производства начального продукта в соответствии с меняющимися внешними факторами.

5. Спад.

Цель – поддержание объема деятельности и сохранение прибыли.

Инженерные решения: мероприятия, обеспечивающие снижение затрат (своевременная продажа ненужного оборудования, контроль над его загрузкой, грамотный выбор места исполнения процессов – «сами» или «на сторону»).

6. Обновление.

Цель – выбор новых продуктов или видов деятельности, актуальных для новой ситуации и способных приносить прибыль в долгосрочном периоде.

Инженерные решения: разработка новых продуктов и новых технологий, обеспечение их средствами производства и материалами.

Обычно решения инженерно-технического характера принимаются на основе предварительного технико-экономического обоснования из нескольких альтернативных вариантов.

В редких случаях рассматривается и оценивается единственный (безальтернативный) вариант решения.

В математике существует специальный раздел, называемый **«математическая теория принятия решений» (ТПР)**, который представляет собой область исследования, вовлекающую понятия и методы математики, статистики, экономики, менеджмента и психологии с целью изучения закономерностей выбора людьми путей решения проблем и задач, а также способов достижения желаемого результата. Решение задачи принятия решения в условиях риска и неопределенности представляет ядро ТПР.

Кроме того, для решения таких задач используются методы теории вероятностей, линейной алгебры, численные методы, методы теории игр и другие. Существует специальный раздел ТПР: теория риска. С некоторыми другими математическими теориями, способствующими поиску и принятию оптимального решения, мы также познакомимся в курсе дисциплины «Основы принятия технических решений».

Контрольные вопросы и задания по теме 1

1. В чем заключается задача принятия решения?
2. Что такое техническое решение?

3. Какие технические решения могут приниматься на разных этапах жизненного цикла предприятия?

4. Какая разница и в чем сходство между оптимальным и допустимым техническими решениями?

5. По каким признакам можно классифицировать технические решения?

6. Имеется исследовательское предприятие, которое занимается изучением структуры, характеристик и экспертизой стройматериалов для многоквартирных домов в городе N. На предприятии встал вопрос об обновлении используемого оборудования. Какие технические задачи, возможно, предстоит при этом решить?

7. Вы решили создать свое предприятие, занимающееся изготовлением технической продукции. Какие технические задачи вам предстоит решить на первом этапе жизненного цикла вашего предприятия? Какими методами вы будете пользоваться при этом?

ТЕМА 2. ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

Задача принятия решения (ЗПР) состоит в формировании множества возможных вариантов, обеспечивающих разрешение проблемной ситуации при существующих ограничениях, и выделении среди этих вариантов одного лучшего или нескольких предпочтительных вариантов, удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям.

Каждый вариант выбора определяет некоторый (количественный) результат, который называется полезностью решения.

В настоящее время не существует общепринятой универсальной классификационной схемы задач принятия решений (ЗПР). Можно выделить отдельные классификационные признаки [14]:

I. Количество целей операции, преследуемых одной стороной и соответствующих целям критериев оптимальности.

II. Наличие или отсутствие зависимости критерия оптимальности и дисциплинирующих условий от времени.

III. Наличие случайных и неопределенных факторов, влияющих на исход операции. Этот признак назван признаком «определенность – риск – неопределенность».

Под критерием оптимальности (или оптимизации) понимается характерный показатель решения задачи, по значению которого оценивается оптимальность найденного решения, то есть максимальное удовлетворение поставленным требованиям. В одной задаче может быть установлено несколько критериев оптимальности.

По I признаку количества целей различают одноцелевые и многоцелевые ЗПР. Реальные решения, как правило, являются многоцелевыми. В этих задачах возникает проблема согласования противоречивых целей при выборе решений. Если цели описаны формализованно, в виде целевых функций, то одноцелевые задачи называют однокритериальными (или скалярными), а многоцелевые – многокритериальными (или векторными) задачами принятия решений.

По II классификационному признаку ЗПР делятся на два больших класса: статические и динамические. В статических ЗПР критериальная функция (с помощью которой численно оцениваются показатели различных принимаемых решений) и дисциплинирующие условия (учитывающие ограниченность ресурсов и технологических возможностей выполнения операции и задающие область допустимых решений) не зависят от времени. Динамические задачи, в которых принимаемые решения зависят от времени, сложнее статических и еще не получили широкого применения в исследованиях.

По III классификационному признаку – «определенность – риск – неопределенность» – ЗПР также делятся на три класса:

1-й класс решений. Принятие решений при определенности (детерминированные ЗПР): характеризуются однозначной, детерминированной связью между принятым решением и его исходом – наиболее простой и изученный способ принятия решений, когда относительно каждой стратегии оперирующей стороны заранее известно, что она неизменно приводит к некоторому конкретному результату.

В детерминированных ЗПР критерии оптимальности и ограничения зависят только от стратегий оперирующей стороны и фиксированных детерминированных неконтролируемых факторов, т. е. факторов, полностью известных оперирующей стороне.

Пример 1. Создание оптимального производственного плана.

Пример 2. Организация транспортных перевозок.

Пример 3. Выбор инвестиционных проектов.

Пример 4. Составление расписания работ.

2-й класс решений. Принятие решений при риске (стохастические ЗПР): в этом случае каждая стратегия оперирующей стороны может привести к одному из множества возможных исходов, причем каждый исход имеет определенную вероятность появления. Предполагается, что принимающему решение лицу эти вероятности заранее полностью известны.

Несмотря на то, что все случайные явления и процессы, сопровождающие операцию и влияющие на ее исход, хорошо изучены и их статистические характеристики известны, исход каждой конкретной реализации операции заранее (до ее проведения) неизвестен, случаен. В этом смысле оперирующая сторона всегда рискует получить не тот результат, на который она ориентируется, выбирая свою оптимальную стратегию в расчете на осредненные, статистические характеристики случайных факторов.

Пример принятия решения в условиях неопределенности.

Задача про стеклопакеты. Нанопленка из серебра на стеклопакете отражает падающее на него тепловое излучение. Зимой это позволяет отражать тепловую энергию обратно в помещение и уменьшать тепловые потери через окно. Летом нанопленка отражает тепловую энергию, идущую с улицы, и помещение меньше нагревается, что позволяет экономить электроэнергию, снижая мощность работы кондиционера. В целом, использование нанопленки позволяет экономить до 30 % энергии. При этом стеклопакет дорожает на 2–3 % от первоначальной стоимости. Необходимо принять техническое решение о целесообразности нанесения на стеклопакет нанопленки из серебра.

Для принятия окончательного решения о целесообразности нанесения пленки на стекло недостаточно данных.

Пример принятия решения в условиях риска.

Задача о страховании транспорта в автомобильной компании. В условиях постоянно растущей конкуренции компания пришла к выводу о том, что клиенты компании, покупающие дорогие и шикарные машины, должны получить дополнительную услугу: застрахованный автомобиль. Причем расходы по страхованию первые три года несет компания.

Никто не знает точно, будут ли аварии и сколько и какой ущерб они причинят, будет угнана машина или нет, но из статистики транспортных происшествий, а также данных ГИБДД по угону автомобилей марки BMW мы знали, что одна из десяти машин раз в году попадает в аварию и средний ущерб составляет $1000 (цифры условные). Если среднегодовой объ-

ем продаж автомобилей – 240 автомашин, то за год вероятны 24 аварии с общим ущербом $24000. В действительности же аварий может быть меньше, но ущерб больше, или наоборот. Исходя из приведенных данных принимается решение о целесообразности страхования транспортных средств и размере страховой суммы.

3-й класс решений. Принятие решений в условиях неопределенности. В данных ЗПР критерии оптимальности зависит, кроме стратегии оперирующей стороны и фиксированных факторов, также от неопределенных факторов, неподвластных оперирующей стороне и неизвестных ей в момент принятия решения.

Разница между риском и неопределенностью.

Ситуацию называют выбором в условиях риска, когда возможные варианты исхода известны, при этом некоторые из этих исходов более благоприятны для агента, чем остальные.

Например, при заключении пари исхода два: агент пари либо выиграет, либо нет, и вероятность выигрыша обычно можно посчитать математически, используя формулы разной сложности.

Выбор в условиях неопределенности подразумевает неизвестное множество исходов.

Например, если заключается пари с соглашением на иностранном языке, который незнаком агенту.

Согласно правилу избегания неопределенности, агент всегда предпочитает выбор в условиях риска выбору в условиях неопределенности. Этого можно достичь, превратив неопределенность в риск путем получения агентом дополнительных знаний о ситуации и использовании этих знаний.

Так, в примере о пари на незнакомом языке неопределенность можно превратить в риск, если агент выучит этот язык или воспользуется переводом.

Таким образом, риск и неопределенность могут переходить друг в друга. Обычно, если решение разрабатывается в условиях неопределенности, возникает риск (обусловленный факторами, не принятыми во внимание

ответственным за решение). Возможен и обратный переход: когда реализуется рискованное решение, оно может породить неопределенность.

К категории неопределенности как явления относятся размытые, нечеткие, противоречивые характеристики процессов или объектов, недостаточная и противоречивая информация. Сюда входит и события класса форс-мажор, которые не подчиняются воле и сознанию людей и изменяют запланированный ход осуществления решения.

Основные правила и критерии принятия решений в условиях риска и неопределенности

Известны два принципа выбора решения:

А. Волевой – когда решение принимается усилием воли ЛПР; обычно этот принцип применяют при отсутствии формализованных моделей.

Б. Критериальный – заключается в принятии и оценке некоторого(-ых) критерия(-ев).

Если среди альтернатив нет доминирующих по состояниям, это означает, что при разных вариантах развития событий наилучший результат показывают разные альтернативы. Каким образом можно сравнить между собой эти наборы значений и как выбрать оптимальный? Здесь на помощь приходят **критерии выбора.**

Основная идея любого критерия: заменить целый набор значений одним численным показателем, характеризующим данный набор с определенной точки зрения, и затем просто численно сравнить между собой эти показатели.

В качестве параметров, численно характеризующих различные варианты развития событий в разных проектах, могут выступать как экономические показатели (прибыль, убытки, затраченное время, объем выполненных работ, …), так и другие показатели, которые можно охарактеризовать количественно (например, число исследований, которые позволяет провести данное оборудование; качество изображения, даваемого микроскопом).

Для оценки возможных альтернатив при различном стечении обстоятельств составляется матрица решений. Пример такой матрицы для процесса принятия решения в условиях риска или неопределенности представлен в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Варианты альтернатив принятия решений	Варианты развития событий			
	C1	C2	…	C n
A1	Э11	Э12	…	Э1 n
A2	Э21	Э22	…	Э2 n
…			…	
An	Э n1	Э n2	…	Э nn

A1; A2;… An – характеризуют каждый из вариантов альтернатив принятия решения;

C1; C2;…; Cn – каждый из возможных вариантов развития событий;

Э11; Э12; Э1n; Э21; Э22; Э2n; Эn1; Эn2; …; Эnn – конкретный уровень эффективности решения, соответствующий определенной альтернативе при определенной ситуации.

Перечислим некоторые основные критерии, используемые при принятии решений:

1. **Критерий Вальда** (правило крайнего пессимизма) предполагает, что из всех возможных вариантов «матрицы решений» выбирается альтернатива, которая из всех самых неблагоприятных ситуаций развития события (минимизирующих значение эффективности) имеет наибольшее из минимальных значений (т. е. значение эффективности, лучшее из всех худших или максимальное из всех минимальных).

Критерием Вальда (критерием «максимина») обычно руководствуются при выборе рисковых решений в условиях неопределенности люди, не склонные к риску или рассматривающие возможные ситуации как пессимисты.

Пример применения критерия Вальда.

Есть два проекта – X1 и X2, которые при трех возможных сценариях развития региона (j = 1...3) обеспечивают разную прибыль. Значения прибыли приведены в табл. 2.2. Необходимо выбрать проект для реализации.

Таблица 2.2

Альтернативные проекты	Варианты развития событий		
	1	2	3
X 1	45	25	50
X 2	20	60	25

Среди возможных проектов нет доминирующих ни абсолютно, ни по состояниям. Поэтому решение придется принимать по критериям.

Если выбор оптимального проекта осуществляется по критерию Вальда, то ЛПР должен выполнить следующие действия:

1. Найти минимальные исходы для каждой альтернативы. Это и будут значения критерия Вальда:

W1 = min(x1j), j = 1...3 => W1 = min(45, 25, 50) = 25;

W2 = min(x2j), j = 1...3 => W2 = min(20, 60, 25) = 20.

2. Сравнить значения критерия Вальда и найти наибольшую величину. Альтернатива с максимальным значением критерия будет считаться оптимальной:

25 > 20 => W1 > W2 => X* = X1.

Если бы решение принималось только по критерию Вальда, ЛПР выбрал бы для реализации проект X1, поскольку прибыль, которую обеспечит данный проект при самом плохом развитии ситуации, выше.

Выбрав оптимальную альтернативу по критерию Вальда, ЛПР гарантирует себе, что при самом плохом стечении обстоятельств он не получит меньше, чем значение критерия. Поэтому данный показатель еще называют критерием гарантированного результата.

Основной проблемой критерия Вальда является его излишняя пессимистичность и, как следствие, не всегда логичный результат.

Примером такой излишней пессимистичности является следующая ситуация: при выборе по критерию Вальда между альтернативами А {150; 400} и Б {100; 9000} решение нужно принять в пользу варианта А. Но логичнее было бы выбрать альтернативу Б, так как при плохом стечении обстоятельств Б лишь немного хуже А, тогда как при хорошем раскладе альтернатива В обеспечивает гораздо больший выигрыш.

2. **Критерий «максимакса»** предполагает, что из всех возможных вариантов «матрицы решений» выбирается альтернатива, которая из всех самых благоприятных ситуаций развития событий (максимизирующих значение эффективности) имеет наибольшее значение (т. е. значение эффективности лучшее из всех лучших или максимальное из максимальных).

Критерий «максимакса» обычно используют при выборе рисковых решений в условиях неопределенности люди, склонные к риску, или рассматривающие возможные ситуации как оптимисты.

Пример применения критерия «максимакса».

В условиях примера из табл. 1 действия ЛПР, использующего критерий «максимакса» для принятия решения, будут следующие:

1. Найти максимальные исходы для каждой альтернативы:

M1 = max(x1j), j = 1...3 => M1 = max(45, 25, 50) = 50;

M2 = max(x2j), j = 1...3 => M2 = max(20, 60, 25) = 60.

2. Сравнить найденные значения и определить альтернативу с максимальной величиной критерия:

50 < 60 => M1 < M2 => X* = X2.

По критерию «максимакса» оптимальным является проект X2, который может обеспечить наибольшую прибыль при наилучшем стечении обстоятельств.

Критерий «максимакса» не учитывает никакие иные исходы, кроме самых лучших. Поэтому его применение, во-первых, может быть весьма опасным, и, во-вторых, так же, как и критерий Вальда, он может приводить к нелогичным решениям.

Пример такого нелогичного решения. Среди альтернатив А{–200; 50; 650} и Б{250; 350; 500} с позиции «максимакса» лучшей является альтернатива А, но она несет в себе и опасность убытков (–200), и вообще все исходы, кроме лучшего, намного уступают альтернативе Б. Поэтому практическое применение критерия «максимакса» весьма ограничено.

3. **Критерий Гурвица** (взвешивающее пессимистический и оптимистический подходы к ситуации) позволяет руководствоваться при выборе рискового решения в условиях неопределенности некоторым средним результатом эффективности, находящимся в поле между значениями по критериям «максимакса» и «максимина».

Критерий Гурвица используют при выборе рисковых решений в условиях неопределенности субъекты, которые хотят максимально точно идентифицировать степень своих конкретных рисковых предпочтений путем задания значения λ-коэффициента, характеризующего рискованность конкретного субъекта:

$0 \leq \lambda \leq 1$, где 0 – полное отсутствие риска, 1 – склонность к максимальному риску.

Пример применения критерия Гурвица.

В условиях нашей задачи рассмотрим принятие решения по критерию Гурвица для ЛПР, настроенного оптимистически (λ = 0.8), и ЛПР-пессимиста (λ = 0.3). Порядок действий таков:

1. Найдем максимальные $\boldsymbol{x_{i\,\max}}$ и минимальные $\boldsymbol{x_{i\,\min}}$ исходы для каждого проекта:

$x_{1\,\max} = \max(45, 25, 50) = 50$, $x_{1\,\min} = \min(45, 25, 50) = 25$;

$x_{2\,\max} = \max(20, 60, 25) = 60$, $x_{2\,\min} = \min(20, 60, 25) = 20$.

2. Рассчитаем величину критерия Гурвица при заданных значениях коэффициента оптимизма:

Если ЛПР оптимист (λ = 0.8):

$H_1\,(0.8) = \lambda\, x_{1\,\max} + (1 - \lambda)\, x_{1\,\min} = 0.8\times50 + (1 - 0.8)\times25 = 45$;

$H_2\,(0.8) = \lambda\, x_{2\,\max} + (1 - \lambda)\, x_{2\,\min} = 0.8\times60 + (1 - 0.8)\times20 = 52$.

Если ЛПР пессимист (λ = 0.3):

$H_1\,(0.3) = \lambda\, x_{1\,\max} + (1 - \lambda)\, x_{1\,\min} = 0.3\times50 + (1 - 0.3)\times25 = 32.5$;

$H_2\,(0.3) = \lambda\, x_{2\,\max} + (1 - \lambda)\, x_{2\,\min} = 0.3\times60 + (1 - 0.3)\times20 = 32$.

Сравним полученные величины. Оптимальными для каждого ЛПР будут альтернативы с **максимальным значением** критерия Гурвица:

Для ЛПР-оптимиста (λ = 0.8):

$45 < 52 \Rightarrow H_1(0.8) < H_2(0.8) \Rightarrow X^* = X_2$.

Для ЛПР-пессимиста (λ = 0.3):

$32.5 < 32 \Rightarrow H_1(0.3) > H_2(0.3) \Rightarrow X^* = X_1$.

Как мы видим, выбор оптимальной альтернативы в одних и тех же условиях существенным образом зависит от отношения ЛПР к риску. Если для пессимиста оба проекта примерно равноценны, то оптимист, который надеется на лучшее, выберет второй проект. Его высокая наилучшая прибыль (60) при больших значениях коэффициента $\boldsymbol{\lambda}$ значительно повышает ценность данного проекта по критерию Гурвица.

4. **Критерий Сэвиджа** (правило минимального риска) предполагает, что из всех возможных вариантов «матрицы решений» выбирается та аль-

тернатива, которая минимизирует размеры максимальных потерь по каждому из возможных решений. При использовании этого критерия «матрица решения» преобразуется в «матрицу потерь» (один из вариантов «матрицы риска»), в которой вместо значений эффективности проставляются размеры потерь при различных вариантах развития событий.

Критерий Сэвиджа (критерий потерь от «минимакса») обычно используется при выборе рисковых решений в условиях неопределенности людьми, не склонными к риску.

Порядок применения критерия Сэвиджа.

1. Для каждого варианта $\boldsymbol{j}$ (столбца матрицы) определим максимальное значение выигрыша $\boldsymbol{y_j}$:

$y_j = \max(x_{ij})$.

2. Для каждой клетки исходной матрицы $\boldsymbol{X}$ найдем «сожаление»: разность $\boldsymbol{r_j}$ между максимальным выигрышем для данного состояния природы и исходом в рассматриваемой ячейке $\boldsymbol{x_{ij}}$:

$r_{ij} = y_j - x_{ij}$.

Из полученных значений составим новую матрицу $\boldsymbol{R}$ – «матрицу сожалений» (матрицу недополученных выигрышей).

3. Для каждой альтернативы в новой матрице $\boldsymbol{R}$ найдем наибольший возможный недополученный выигрыш («максимальное сожаление»). Это и будет являться оценкой данной альтернативы по критерию Сэвиджа $\boldsymbol{S_i}$:

$S_i = \max(r_{ij}), j=1...M$.

4. Оптимальной может быть признана альтернатива с минимальным (!) наибольшим недополученным выигрышем:

$X^* = X_k, S_k = \min(S_i), i=1...N$.

Пример применения критерия Сэвиджа.

Применим алгоритм действий для принятия решения в условиях нашей задачи:

1. Найдем наибольшую возможную величину прибыли для каждого сценария развития региона:

$y_1 = \max(x_{11}, x_{21}) = \max(45, 20) = 45$;

$y_2 = \max(x_{12}, x_{22}) = \max(25, 60) = 60$;

$y_3 = \max(x_{13}, x_{23}) = \max(50, 25) = 50$.

2. Рассчитаем значения «сожалений» для каждого проекта при каждом сценарии (т. е. найдем недополученную прибыль по сравнению с максимально возможной при данном сценарии развития).

3. Составим из полученных значений «матрицу сожалений» (табл. 2.3):

для проекта $\boldsymbol{X_1}$:

$r_{11} = y_1 - x_{11} = 45 - 45 = 0$;

$r_{12} = y_2 - x_{12} = 60 - 25 = 35$;

$r_{13} = y_3 - x_{13} = 50 - 50 = 0$;

для проекта $\boldsymbol{X_2}$:

$r_{21} = y_1 - x_{21} = 45 - 20 = 25$;

$r_{22} = y_2 - x_{22} = 60 - 60 = 0$;

$r_{23} = y_3 - x_{23} = 50 - 25 = 25$.

Таблица 2.3

Матрица «сожалений» R				
Альтернативные проекты (X_i)	**Значения «сожалений»**			**Макс. «сожаление» S_i**
	1	**2**	**3**	
X_1	0	35	0	35
X_2	25	0	25	25
y_j	45	60	50	

4. В полученной матрице по каждой строке найдем **наибольшую** величину «сожаления» для каждого проекта (последний столбец в табл. 2.3). Это значение соответствует оценке данной альтернативы по критерию Сэвиджа.

$S_1 = \max(0, 35, 0) = 35$; $S_2 = \max(25, 0, 25) = 25$.

5. Сравним полученные величины и найдем проект с минимальным (!) значением критерия. Он и будет оптимальным:

$35 > 25 \Rightarrow S_1 > S_2 \Rightarrow X^* = X_2$.

ЛПР, руководствующийся при принятии решений критерием Сэвиджа, выберет проект X_2.

В данном случае, в отличие от остальных критериев, наилучшей альтернативой является та, для которой значение критерия Сэвиджа **минимально**, поскольку критерий отражает наибольший из возможных недополученных выигрышей для данной альтернативы. Очевидно, что чем меньше можно недополучить, тем лучше.

5. Критерий Лапласа основан на принципе недостаточного обоснования. Поскольку в рамках информационного подхода в ситуации неопределенности вероятности состояний неизвестны, то нет оснований утверждать, что они различны. Поэтому можно допустить, что они одинаковы.

По критерию Лапласа в качестве оценки альтернативы используется средний выигрыш:

$$L_i = \frac{\sum_{j=1}^{M} x_{ij}}{M}.$$

Оптимальной является альтернатива с максимальным средним выигрышем:

X* = Xk, Lk = max(Li), i = 1...N.

Пример применения критерия Лапласа.

Для условий нашего примера использование критерия Лапласа будет выглядеть следующим образом:

1. Найти **среднее арифметическое** значение исходов по каждому проекту. Оно является оценкой альтернативы по критерию Лапласа:

$L_1 = (x_{11} + x_{12} + x_{13})/3 = (45 + 25 + 50)/3 = 40$;

$L_2 = (x_{21} + x_{22} + x_{23})/3 = (20 + 60 + 25)/3 = 35$.

2. Сравнить рассчитанные величины и найти альтернативу с **максимальным** значением критерия:

$40 > 35 \Rightarrow L_1 > L_2 \Rightarrow X^* = X_1$.

По критерию Лапласа оптимальным является проект $\boldsymbol{X_1}$, у которого наибольшая средняя прибыль.

Среднее значение является достаточно популярной мерой в условиях неопределенности и риска, однако оно не учитывает разброс результатов относительно этого значения. Например: альтернативы А {500; 600} и В {0; 1100} являются эквивалентными по критерию Лапласа $(L_A = L_B = 550)$, однако альтернатива В более «рискованна», так как предполагает возможность при плохом стечении обстоятельств не получить ничего.

Некоторые рекомендации по использованию критериев для принятия решений в условиях неопределенности:

– Нет универсальных критериев. Каждый критерий фокусируется на некоторых свойствах результатов и «затуманивает» другие. Желательно сравнивать альтернативы не по одному, а по нескольким критериям.

– Порядок расчета критерия объективен и не зависит от ЛПР. Однако сам выбор критерия для сравнения альтернатив – субъективен и отражает отношение ЛПР к риску. Каждый человек должен сам выбрать именно те критерии, которые наиболее точно соответствуют его отношению к неопределенности.

– Процедура применения критериев формализована, а сами критерии сильно «упрощают» представление об альтернативах. Из-за этого результаты применения критерия могут быть не совсем логичны с позиций реального человека. Поэтому любое решение, «рекомендуемое» тем или иным критерием, необходимо проверять с позиций «здравого смысла».

В некоторых случаях выбор критериев и постановка «диагноза», например, «исправное состояние» и «неисправное состояние», происходят в неоднозначных ситуациях. В этих случаях, наряду с критериальным способом, применяются вероятностно-статистические методы принятия решений, которые учитывают вероятности наступления того или иного исхода события [7].

Контрольные вопросы и задания по теме 2

1. По каким признакам можно классифицировать задачи принятия решений?

2. В чем заключается разница между риском и неопределенностью?

3. Перечислите и коротко охарактеризуйте основные критерии принятия решений.

4. Какие показатели можно использовать в качестве количественных параметров при принятии решения по выбору оборудования для исследования по изучению структуры металлов?

5. Какими данными необходимо дополнить задачу про стеклопакеты, чтобы она из категории задач, в которых решение принимается в условиях неопределенности, перешла в категорию задач с определенностью?

6. Пользуясь разными критериями, примите и обоснуйте техническое решение в пользу одной из предложенных в табл. 2.4 стратегий.

Таблица 2.4

Стратегии	Затраты, у. е.			
	C1	**C2**	**C3**	**C4**
A1	6	12	20	24
A2	10	7	9	29
A3	21	18	15	19
A4	25	24	17	11

7. Решите предыдущую задачу для случая, когда вместо затрат в таблице приведены значения прибыли.

ТЕМА 3. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ

Системный подход к описанию технических объектов

Особенность **системного подхода** состоит в рассмотрении объекта как сложной системы с многообразными внутрисистемными связями между ее отдельными элементами и внешними связями с другими системами.

Система – это полный, целостный набор элементов (компонентов), взаимосвязанных и взаимодействующих между собой так, чтобы могла реализоваться функция системы (С – графен, фуллерен). Например, элемент углерод (компонент), соединяясь в разные структуры, может образовать системы графен, фуллерен, графит, алмаз и др.

Любой технический объект с точки зрения системного подхода – это система, которая, в свою очередь, является элементом более глобальных многокритериальных многоуровневых систем: предприятия, промышленного комплекса, и т. п.

Техническая система (ТС) – это совокупность упорядоченно взаимодействующих элементов, обладающая свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных элементов, и предназначенная для выполнения определенных полезных функций. Оптический микроскоп как пример технической системы представлен на рис. 3.1.

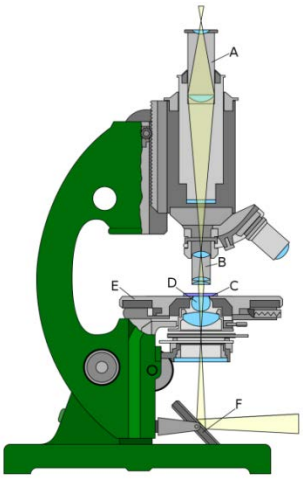

Рис. 3.1. Оптический микроскоп:
A – окуляр; B – объектив; C – объект;
D – конденсор; E – предметный столик; F – зеркало

Главное свойство любой системы – возникновение системного эффекта. Заключается оно в том, что при объединении элементов в систему у системы появляются новые качества, которыми не обладал ни один из элементов в отдельности (рис. 3.2). В данном примере микроскоп как оптическая система позволяет получать четкие многократно увеличенные изображения микроскопических объектов, что не под силу сделать, имея отдельно взятые линзы или зеркала.

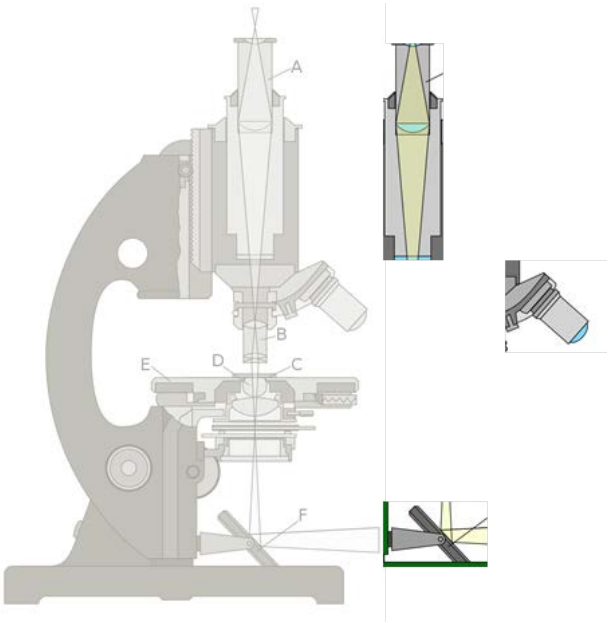

Рис. 3.2. Элементы оптического микроскопа

Техническая система может существовать как:

1) изделие производства (нанобетон, нанокапсула с лекарством и др.);

2) устройство, потенциально готовое совершить полезный эффект (зондовый микроскоп, нанодвигатели, нанонасосы и др.);

3) процесс взаимодействия с компонентами окружающей среды, в результате которого образуется полезный эффект. Например, доставка лекарств в нанокапсулах до очага поражения. В вену вводятся микроботы и передвигаются против тока крови к нужному месту в организме под действием внешнего магнитного поля. Собрав всех микроботов на опухоли, открывают их, например, ультразвуком.

Многокритериальность технической системы означает, что степень совершенства ТС, качеств выполнения ею своих функций зависит сразу от нескольких выходных характеристик. Например, при диагностике кишечника нанокапсулой должны выполняться следующие критерии:

- Возможность осмотреть ЖКТ на всем протяжении.
- Отсутствие боли и дискомфорта.
- Отсутствие вредного воздействия на организм человека

и др.

Многоуровневость технической системы означает, что любой технический объект является элементом иерархический структуры, в которой можно выделить несколько уровней (рангов).

Для любой ТС в рамках системного подхода можно выделить надсистему (НС) и подсистему (ПС).

Надсистема использует продукт данной технической системы.

Продукт **подсистемы** используется данной технической системой.

Наиболее удачной моделью системного подхода является системный многоэкранный оператор, который показывает взаимосвязанные элементы, образующие единую целую техническую систему (рис. 3.3).

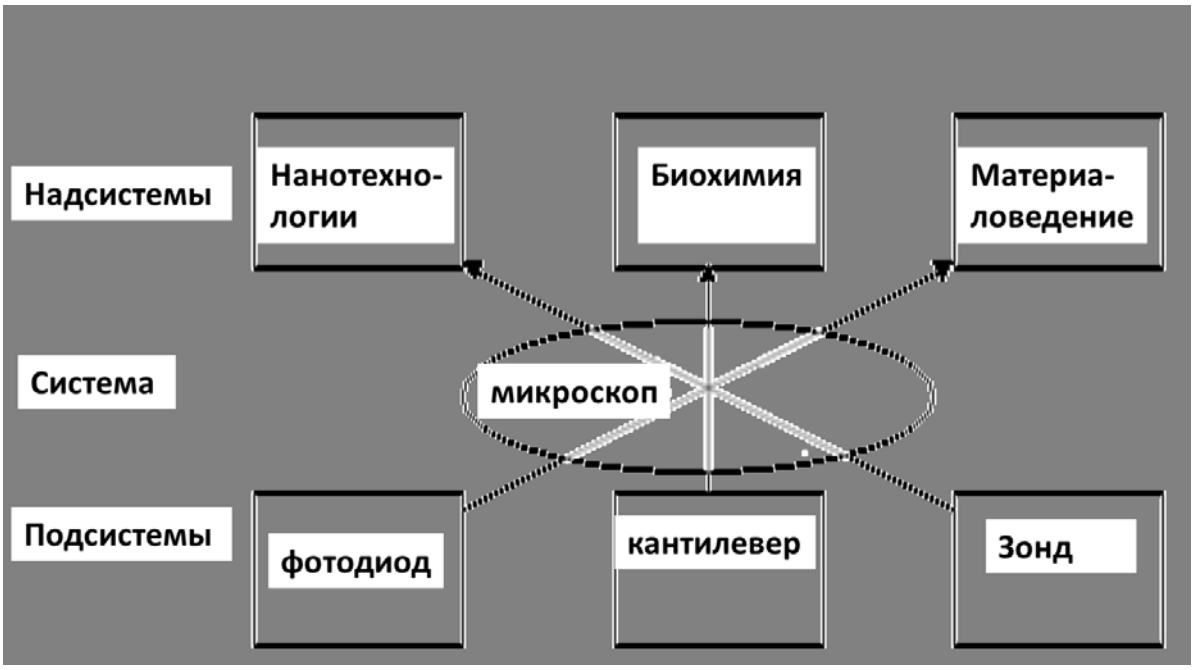

Рис. 3.3. Схема уровней системы «зондовый микроскоп»

Техническая система, ее подсистемы и надсистема, в которую она входит, образуют иерархию, формируя непрерывный ряд все более и более усложняющихся элементов. В табл. 3.1 приведен пример иерархической лестницы технических систем.

Таблица 3.1

Ранг	Название системы	Пример	Аналог в природе
15	Однородное вещество	Химически чистое железо	Простое вещество (водород, азот)
14	Неоднородное вещество	Сталь	Смеси, растворы (воздух, морская вода)
13	Однородная деталь (при разделении образует однородные части)	Проволока, ось, балка	Углеродная цепь -C-C-C-C-C-C-
12	Неоднородная деталь (при разделении образует неодинаковые части)	Винт, гвоздь	Несимметричная углеродная цепь
11	Пара деталей	Винт и гайка, ось и колесо	Молекула, образованная разными радикалами
10	Узел	Ось и два колеса (появляется новое свойство – способность качения)	Сложные молекулы, полимеры
9	Однородный механизм (совокупность узлов, позволяющая изменить энергию и вещество, не меняя их вида)	Винтовой домкрат, тележка, парусное оснащение, часы, трансформатор, бинокль	Молекула гемоглобина, способная транспортировать кислород
8	Неоднородный механизм (совокупность узлов, позволяющая осуществлять перевод энергии и вещества одного вида в другой)	Двигатель внутреннего сгорания, электростатический генератор	Молекулы РНК, ДНК, АТФ

Окончание табл. 3.1

Ранг	Название системы	Пример	Аналог в природе
7	Машина	Локомотив, автомобиль, самолет	Клетка
6	Агрегат	Локомотив, вагоны, рельсовый путь	Органы тела: сердце, печень, почки и т. д.
5	Предприятие	Завод, метро, аэропорт	Организм
4	Объединение	Аэрофлот, автотранспорт, железнодорожный транспорт	Класс
3	Отрасль	Транспорт (все виды)	Тип
2	Техника	Вся техника (все отрасли)	Фауна
1	Техносфера	Техника + люди + ресурсы + система потребления	Биосфера

Характеристики технической системы (ТС) любого ранга зависят от влияния характеристик ТС всех других рангов, как «вышестоящих», так и «нижестоящих». Взаимное влияние очень сильно на дистанциях в 1–2 ранга и значительно слабее на дальних дистанциях, но в некоторой мере оно сохраняется всегда.

Техническая задача обычно возникает при появлении потребности в улучшении той или иной характеристики ТС. Формулировка задачи оказывается привязанной к системе определенного ранга, и ЛПР пытается решить задачу путем изменения системы, указанной в условиях задачи. Между тем во многих случаях менять надо систему совершенно иного ранга – более высокого или более низкого. Бывают ошибки и противоположного характера: изменяется система, значительно удаленная по шкале рангов от данной, хотя для решения достаточно изменить именно ее.

Пример. Если перегревается какой-то механизм внутри двигателя внутреннего сгорания (8-й ранг), не обязательно изменять именно его. Решение задачи может заключаться в изменении всей системы, например, меняются какие-то другие элементы внутри автомобиля (7-й ранг), которые влияют на работу двигателя. И наоборот, можно изменить один из механизмов или же узел, пару, деталь и т. д. (9-й ранг и выше).

А поскольку все эти объекты могут быть изменены множеством способов, то общее количество вариантов, среди которых находится единственно нужный, чрезвычайно велико даже для задачи средней трудности.

Развитие системы и ее элементов идет из прошлого через настоящее в будущее. Это дает возможность построить структуру, которая получила название **системного оператора**, позволяющего не только проследить историю развития системы, но и прогнозировать ее будущее. На рис. 3.4 представлен системный оператор в общем виде, на рис. 3.5 – пример для конкретной системы «хлопчатник».

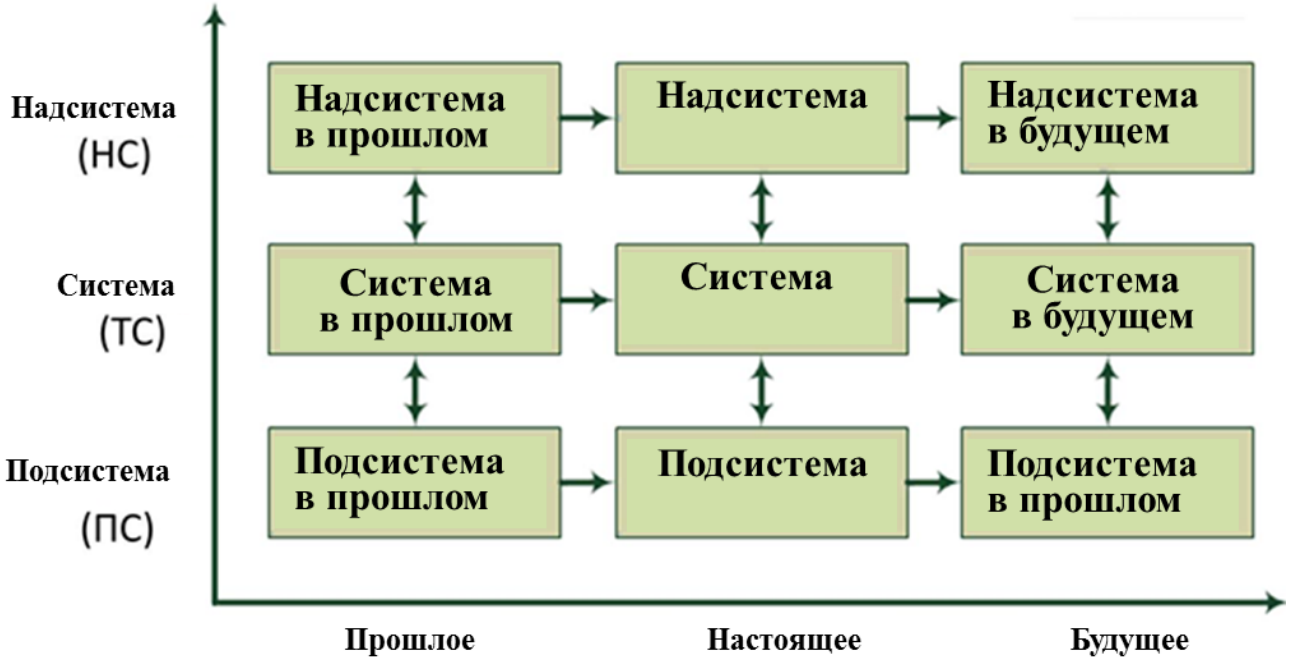

Рис. 3.4. Системный оператор в общем виде

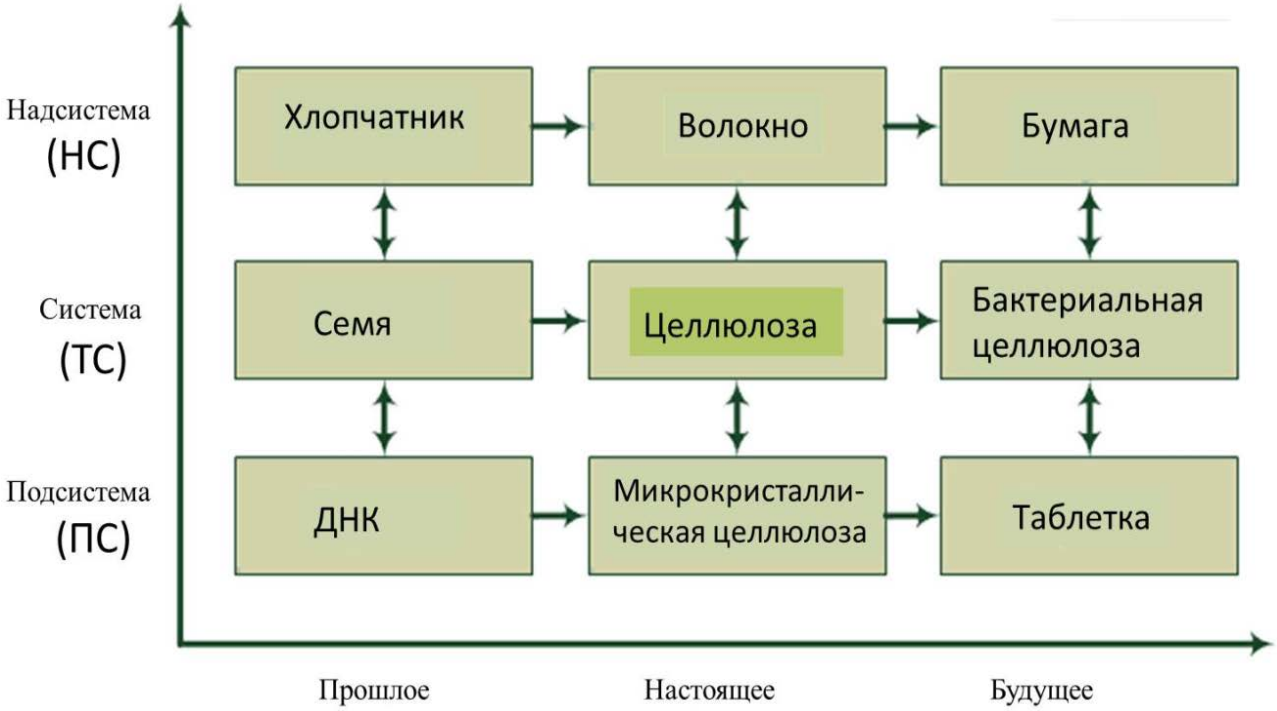

Рис. 3.5. Системный оператор для хлопчатника

К числу основных задач системного подхода относятся:

– разработка концептуальных (содержательных и формальных) средств представления исследуемых объектов как систем;

– построение обобщенных моделей систем, включая модели динамики систем, их целенаправленного поведения, развития, иерархического строения, процессов управления и т. п.;

– исследование методологических оснований различных теорий систем.

Необходимое условие системного видения любого объекта или явления – это строгое следование принципам целостности, структуры, иерархичности, связи исходных предпосылок с конечным результатом.

Системное описание ТС включает в себя следующие подходы:

– компонентный, изучающий состав, вещества и поля системы;

– структурный, изучающий взаимное расположение систем в пространстве и времени, связи между ними;

– функциональный, рассматривающий функции технический системы и ее подсистем (главная полезная функция – Гпф, вспомогательные – Всф, второстепенные – Втф, вредные – Врф), роль ТС в НС;

– генетический, изучающий становление технической системы, этапы ее развития и замену одной системы (ТС, ПС, НС) другой.

Системное описание характеристик ТС подразумевает их классификацию. Пример такой классификации с выделенными основаниями приведен в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Основание (критерий) классификации	Классы систем
По взаимодействию с внешней средой	• Открытые • Закрытые • Комбинированные
По структуре	• Простые • Сложные • Большие
По характеру функций	• Специализированные • Многофункциональные (универсальные)
По характеру развития	• Стабильные • Развивающиеся
По степени организованности	• Хорошо организованные • Плохо организованные (диффузные)
По сложности поведения	• Автоматические • Решающие • Самоорганизующиеся • Предвидящие • Превращающиеся
По характеру связи между элементами	• Детерминированные • Стохастические

Окончание табл. 3.2

Основание (критерий) классификации	Классы систем
По характеру структуры управления	• Централизованные • Децентрализованные
По назначению	• Производящие • Управляющие • Обслуживающие

Иногда при изучении отдельных характеристик или свойств системы полезно вводить понятие антисистема.

Антисистема – это система, которая выполняет функцию, противоположную функции рассматриваемой системы.

Например:

- система – карандаш, антисистема – ластик;
- система – антенна (источник сигнала), антисистема – глушитель;
- система – нагревательный элемент, антисистема – охладитель.

Системный подход к принятию решений

Процесс принятия решения также можно рассматривать с позиций системного подхода.

Цель применения системного подхода к принятию решений – выяснить реальную связь между принимаемым решением и его последствиями, отражающимися на всех иерархических уровнях (рангах) и элементах системы.

Достоинством системного подхода к принятию решений является его высокая объективность, а также обеспечение согласованности множества целей на разных уровнях (рангах).

Недостатком системного подхода является зависимость результата от выбранной модели объекта.

Системный подход в качестве одной из основных задач предполагает построение модели объекта. Следовательно, одним из основных методов в рамках этого подхода является моделирование – создание и изучение моделей реальных объектов.

Модель («мера, аналог, образец») – система, исследование которой служит средством для получения информации о другой системе; представление некоторого реального процесса, устройства или концепции.

Модель – это абстрактное представление реальности в какой-либо форме (например, в математической, физической, символической, графической или дескриптивной), предназначенное для представления определенных аспектов этой реальности и позволяющее получить ответы на изучаемые вопросы.

На рис. 3.6 показана схема процесса построения модели.

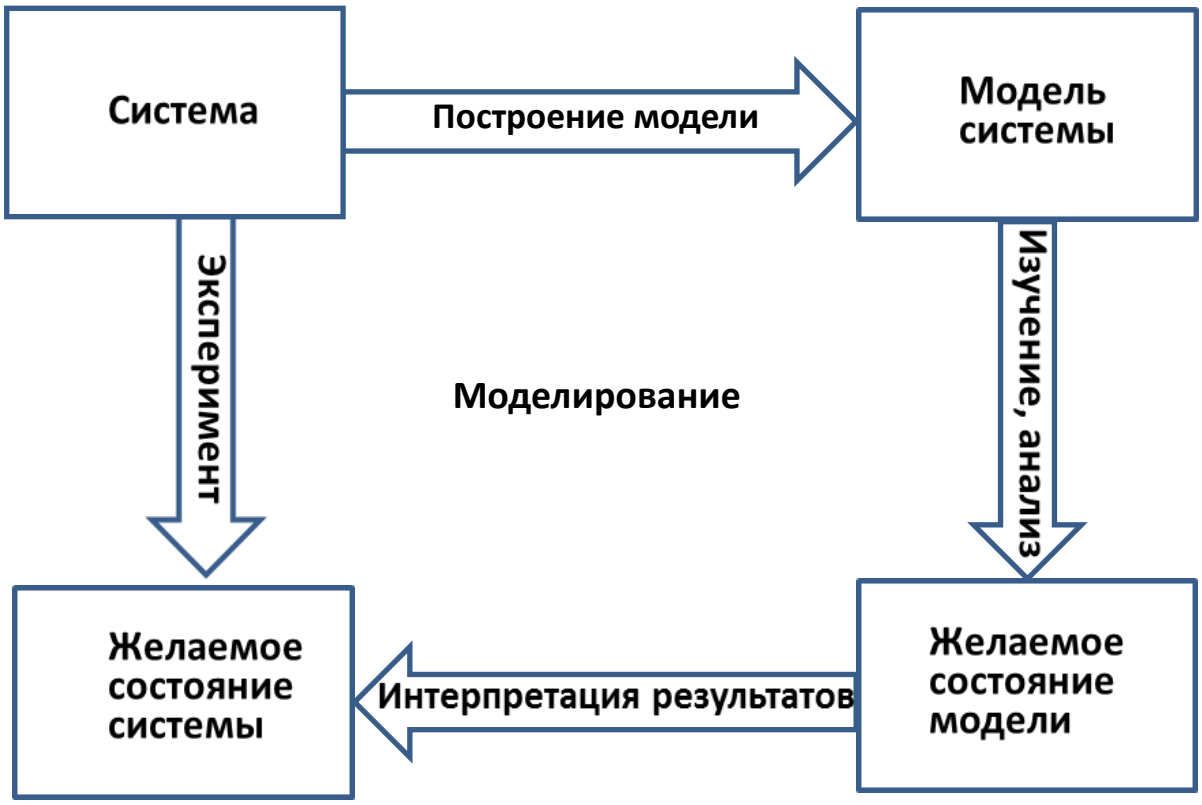

Рис. 3.6. Процесс моделирования системы

Основные свойства моделей:

1) модель должна быть подобна исследуемому объекту;

2) модель должна быть проще изучаемого объекта, чтобы оказалось возможным ее изучение.

Основное назначение модели – возможность проведения с моделью экспериментов, анализа и изучения, которые невозможны с самим исследуемым объектом.

Постановка задачи является основным этапом построения модели и представляет собой диагностику проблемной ситуации, т. е. идентификацию проблемы технической системы.

Создание модели принятия решения подразумевает разработку формализованной схемы, которая включает в себя [4]:

- установление цели модели;
- входной информации, необходимой для решения;
- источников данной информации;
- выходной информации, получаемой из модели об объекте управления, помогающей ЛПР решать проблему.

Основные положения, которые должны учитываться при построении многокритериальных моделей задач принятия решений:

1. Модель создается исследователем для структуризации и уточнения предпочтений лица, принимающего решение, которое непосредственно участвует в ее разработке.

2. Модель должна быть логически непротиворечивой.

3. Модель должна содержать описание всех важнейших элементов задачи принятия решения, их свойств.

4. Модель должна давать возможность использования реальной информации о задаче, получаемой от экспертов и лица, принимающего решение.

5. Модель должна быть простой и удобной для анализа и использования лицом, принимающим решение.

Моделирование процесса принятия решения позволяет сделать его более алгоритмичным и автоматизированным. Это позволяет разработать **система поддержки принятия решения (СППР)** [6].

СППР – это человеко-машинная информационная система, используемая для поддержки действий ЛПР в процессах принятия решений. Главной особенностью СППР является качественно новый метод организации взаимодействия человека и компьютера.

В состав системы поддержки принятия решений (входят три главных компонента: база данных, база моделей и программная подсистема, которая состоит из системы управления базой данных (СУБД), системы управления базой моделей (СУБМ) и системы управления интерфейсом между пользователем и компьютером. Схематично структура СППР представлена на рис. 3.7.

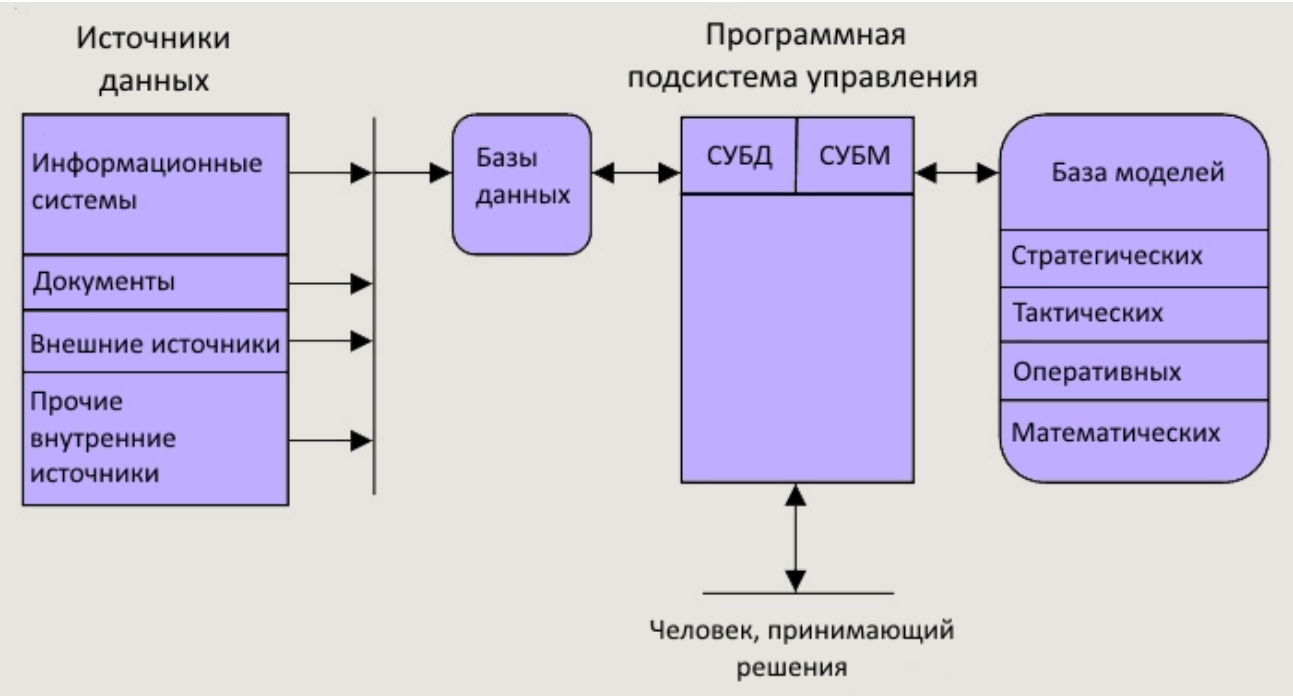

Рис. 3.7. Основные компоненты информационной технологии СППР

Функции СППР:

• выступают в роли помощника ЛПР, который позволяет расширить его способности, но не заменяет его мнение и систему предпочтений;

• предназначены для использования в ситуациях, когда процесс принятия решения ввиду необходимости учета субъективного мнения ЛПР не может быть полностью формализован и реализован на компьютере.

СППР – это система, выполняющая следующие функции:

1) оценка обстановки (ситуаций), выбор критериев и оценка их относительной важности;

2) генерация возможных решений или сценариев действий;

3) оценка сценариев, решений, действий и выбор наилучших из них;

4) обеспечение информационного обмена и согласование групповых решений;

5) моделирование принимаемых решений при наличии такой возможности;

6) динамический анализ возможных последствий принимаемых решений;

7) сбор данных о результатах реализации принятых решений и оценка этих результатов.

Рассмотрим основные виды моделей, используемых при принятии технических решений:

1. Физические (материальные) модели ЗПР – это либо сама система (опытный образец), либо макет со схожей физической природой, на которых проверяется или реализуется ЗПР. Качество модели определяется коэффициентом подобия (чем он ближе к 1, тем ближе модель к реальному объекту).

2. Неформализованные (эвристические) модели ЗПР. Решения в них принимаются на основе интуитивных, творческих идей исследователя (эксперта). В основе модели лежат специальные эвристические методы (эвристики). Принцип использования такой модели следующий: **методы → умозаключение → ПР.**

Отдельной разновидностью являются прагматические модели ЗПР. Они отличаются от эвристических тем, что в их основе лежат нормативные документы (например, ГОСТ). Эта модель используется по схеме: **документ → умозаключение → ПР.**

3. Формализованные (математические) модели ЗПР – это формальное описание ЗПР с помощью средств математики, которое можно представить несколькими способами. В зависимости от способа представления информации математические модели подразделяются на:

а) аналитические модели (строятся на базе аналитических (качественных) зависимостей);

б) модели ЗПР в табличной (матричной) форме;

в) графические модели;

г) компьютерные модели.

Каждый из этих видов моделей может быть разбит на подклассы.

Так, например, при создании компьютерных моделей выделяют:

• имитационное моделирование (разработка компьютерных моделей и постановка экспериментов на них); моделирование наноструктур, наноприборов и наносистем;

• экспертное моделирование (программа имитирует процессы рассуждения человека-эксперта);

• ситуационное моделирование (программа использует сведения о конкретных ситуациях и отражает реальную динамику процессов, а также учитывает человеческий фактор); процесс адсорбции на катализаторе;

• мультиагентный подход (использование программ, сочетающих искусственный интеллект, информационно-телекоммуникационные технологии и имитационное моделирование).

Проблемы моделирования

Процесс построения модели является трудоемким и требует четкого понимания специфических особенностей рассматриваемой системы. Составление модели – это искусство, творчество. До какого-то уровня научить этому можно, но не более того. Еще древние греки говорили: «Если двое делают одно и то же, это не значит, что получится одно и то же». Как все средства и методы, модели принятия решений в случае их применения могут привести к ошибкам. Эффективность модели снижается действием ряда потенциальных погрешностей:

1. ***Недостоверные исходные допущения***. Любая модель опирается на некоторые исходные допущения, или предпосылки. Некоторые из них можно объективно проверить и просчитать. Вероятность их точности будет высока. Другие же не поддаются оценке и не могут быть объективно проверены.

В дополнение к допущениям по поводу компонентов модели руководитель формулирует предпосылки относительно взаимосвязей внутри нее.

Например: проектируется «Моделирование диффузии газа через наноструктурированную мембрану».

Допущения: газ идеальный; потенциальной энергией молекул можно пренебречь; между молекулами не действуют силы притяжения или отталкивания, соударения частиц между собой и со стенками сосуда являются абсолютно упругими, а время взаимодействия между молекулами пренебрежимо мало по сравнению со средним временем между столкновениями. Структура мембраны – монослойная.

Но как изменяется концентрация до и после мембраны? А температура? и т. д. Точность модели будет зависеть от точности этих взаимосвязей.

2. ***Информационные ограничения***, т. е. ограниченные возможности в получении нужной информации, которые влияют и на построение, и на использование моделей. Точность модели определяется точностью информации. Если внешняя среда динамична, информацию о ней следует обновлять быстро, но это может быть нереализуемо или непрактично.

3. ***Страх пользователей***. Модель нельзя считать эффективной, если ею не пользуются. Основная причина неиспользования модели заключается в том, что руководители, которым она предназначена, могут не вполне понимать получаемые с помощью модели результаты и потому боятся ее применять.

4. ***Чрезмерная стоимость***. Выгода от использования модели должна с избытком оправдывать ее стоимость. При установлении издержек на моделирование руководству следует учитывать затраты времени на построение модели и сбор информации, расходы и время на обучение, стоимость обработки и хранения информации.

Контрольные вопросы и задания по теме 3

1. Дайте определение понятиям «система», «техническая система». Приведите примеры таких систем.

2. Что подразумевает системный подход в принятии решений?

3. По каким критериям можно систематизировать характеристики технических систем?

4. В чем сходство и различие между систематизацией и моделированием?

5. Определите понятие «модель», перечислите свойства моделей принятия решения.

6. Что из себя представляют модели задач принятия технических решений? Какие функции они выполняют?

7. С какими проблемами можно столкнуться при использовании моделирования для принятия технических решений?

8. Чем отличаются «модель задачи принятия технического решения» и «модель, используемая для принятия технического решения»? Приведите примеры того и другого.

9. Что такое СППР и какие функции она выполняет?

10. Какой ранг в представленной систематизации (табл. 3.1) будут иметь следующие системы: микроскоп, предметное стекло, капля воды с живыми бактериями, лаборатория оптики?

11. Постройте системные операторы для следующих технических систем: 1) микроскоп, 2) телескоп, 3) твердомер, 4) трибометрический испытательный стенд, 4) бактериальная целлюлоза.

12. Являются ли системами: 1) растровый электронный микроскоп, 2) набор зондов, 3) НОРЦН, 4) задания в учебном пособии?

13. Укажите подсистемы и надсистемы у следующих системных объектов: 1) атом углерода, 2) компьютер, 3) микротвердомер.

ТЕМА 4. ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ. ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Математическое программирование – это раздел математики, занимающийся изучением экстремальных задач и разработкой методов их решений. Термин «программирование» возник исторически, он не имеет отношения к традиционному пониманию программирования как процессу составления программ для ЭВМ, а означает в этом случае планирование, выбор оптимальной программы действий (от англ. programming).

Математическое программирование включает в себя несколько подразделов, в каждом из которых рассматриваются конкретные методы решения оптимизационных задач определенного вида, то есть задач максимизации выгодных характеристик, соотношений (например, оптимизация производственных процессов и производства) и минимизации расходов. Это так называемые **экстремальные задачи** – задачи поиска экстремумов (максимумов, минимумом) некоторой функции. В рамках данного пособия мы рассмотрим только некоторые – наиболее значимые для нас – примеры применения методов математического программирования для решения технических задач.

Начнем с рассмотрения нескольких примеров задач, которые решаются методами линейного программирования [15].

Линейное программирование – это метод математического программирования, в котором изучаются методы решения задач нахождения экстремума (максимума/минимума) линейной функции многих переменных при наличии линейных ограничений.

Впервые постановка задачи линейного программирования встречается в работе советского экономиста А. Н. Толстого (1930 г.).

Многие свойства задач линейного программирования можно интерпретировать также как свойства многогранников и таким образом геометрически формулировать и доказывать их.

Прежде чем применить методы линейного программирования к решению конкретной технической задачи, необходимо составить ее математическую модель. Под математической моделью понимают математическое описание исследуемого процесса, в котором учтены его закономерности в абстрактной математической форме.

Обычно математическая модель представляет собой систему уравнений и (или) неравенств, которая включает в себя систему ограничений и целевую функцию.

Целевая функция – вещественная или целочисленная функция нескольких переменных, подлежащая оптимизации.

Пример. Если решается задача определения технических условий для получения максимальной прибыли в некоторой производственной ситуации, то целевая функция будет представлять собой математическую зависимость прибыли от величин, характеризующих данную производственную ситуацию (затрат времени, затрат ресурсов, требований к качеству продукции и т. д.)

Общей (стандартной) задачей линейного программирования называется задача нахождения экстремума линейной целевой функции вида:

$$f(x) = \sum_{j=1}^{n} c_j\, x_j = c_1 x_1 + \cdots + c_n x_n \to \min(\max) \text{ – } \textbf{целевая функция}.$$

Задача, в которой фигурируют ограничения в форме неравенств, называется **основной задачей линейного программирования (ОЗЛП):**

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, x_j \geq b_i,\ i = (1,2,\dots,m) \text{ – } \textbf{система ограничений};$$

$$x_j \geq 0,\ \mathrm{j} = (1,2,\dots,n) \text{ – } \textbf{условие неотрицательности}.$$

Задача линейного программирования будет иметь **канонический вид**, если в основной задаче вместо системы неравенств имеет место система уравнений с ограничениями в форме равенства:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, x_j = b_i,\ i = (1,2, \dots, m).$$

Основную задачу можно свести к канонической путем введения дополнительных переменных.

С помощью методов линейного программирования решаются задачи следующих типов:

- задачи о составлении смесей и сплавов, обладающих определенными нормативными свойствами;
- задачи составления производственного плана распределения ресурсов;
- задачи об оптимизации перевозок грузов от поставщиков к потребителям (транспортные задачи);
- задачи о назначениях (на должности);
- задачи о планировании инвестиций;
- некоторые математические игры и др.

Примеры формулировок задач линейного программирования:

Задача о составлении сплава.

Производство занимается получением сплавов из n видов руды, содержащей m = 3 вида драгоценных металлов: золото, платину, серебро. Известно процентное содержание драгметаллов в каждом из видов руды и стоимость каждого из видов.

Задача. Необходимо из данных видов руды получить сплав с содержанием каждого i-го элемента не менее b_i (i = 1, 2,…, m); при этом сплав должен иметь наименьшую стоимость.

Задача о составлении производственного плана.

Производство выпускает продукцию двух видов, M и N, которая изготавливается из четырех видов сырья A_1, ..., A_4. Запас всех видов сырья

и расход каждого сырья на единицу изготовления каждой продукции известны.

Задача. Составить производственный план, дающий максимальную прибыль.

Транспортная задача.

Имеется m пунктов отправления однородного, бесконечно делимого груза, с запасом в каждом из них a_i и n пунктов потребления этого груза, с потребностями b_j в каждом. Затраты на перевозку единицы груза из i-го пункта отправления в j-ый пункт потребления известны и равны c_y.

Задача. Как спланировать перевозки, т. е. какие количества x_y груза перевести от i-го поставщика к j-му потребителю, чтобы все потребности были удовлетворены, а суммарные затраты на перевозки были минимальны?

Задача о назначениях.

Пусть имеется N исполнителей и N работ. Известно, какое время t_{ij} требуется каждому исполнителю i для выполнения каждой работы j.

Задача. Назначить исполнителей на работы так, чтобы суммарное время на выполнение всех работ было минимальное.

Задача о планировании инвестиций.

Плановый горизонт – 3 года. Существуют 5 вариантов инвестиционных проектов с известными различными характеристиками вложений и доходов на каждый год.

Задача. Составить план инвестиций таким образом, чтобы максимизировать сумму денег, полученных за 3 года.

Условие задач линейного программирования можно оформить в виде таблицы. Дано условие: при изготовлении n видов продукции P_j (j = 1, 2, ..., n) используется m видов сырья S_i (i = 1, 2, ..., m), запасы которого b_i для S_i известны. Количество единиц сырья S_i, идущего на изготовление единицы продукции P_j, равно a_{ij}, а прибыль, полученная от реализации единицы продукции P_j, равна c_j у. е. Требуется составить такой план вы-

пуска продукции, при котором прибыль от ее реализации окажется максимальной.

Данные задачи можно представить в виде табл. 4.1.

Таблица 4.1

Виды сырья	Запасы сырья	Количество единиц сырья S_i, идущего на изготовление единицы продукции P_j						
		P_1	P_2	P_3	…	P_j	…	P_n
S_1	b_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	…	a_{1j}	…	a_{1n}
S_2	b_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	…	a_{2j}	…	a_{2n}
…	…	…	…	…	…	…	…	…
S_i	b_i	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	…	a_{ij}	…	a_{in}
…	…	…	…	…	…	…	…	…
S_m	b_m	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}	…	a_{mj}	…	a_{mn}
Прибыль		c_1	c_2	c_3	…	c_j	…	c_n

Форма записи условия, представленная в табл. 4.1, называется жордановой таблицей.

Схема формирования математической модели экстремальной задачи выглядит следующим образом:

1) сначала осуществляется выбор некоторого числа переменных величин, заданием числовых значений которых однозначно определяется одно из возможных состояний исследуемого явления;

2) с помощью введенных переменных устанавливаются взаимосвязи, присущие исследуемому явлению, в виде математических соотношений (уравнений, неравенств); эти соотношения образуют систему ограничений задачи;

3) вводится количественное выражение выбранного критерия оптимальности в форме целевой функции.

Одним из универсальных методов решения задач линейного программирования является симплексный (симплекс-метод), называемый также методом последовательного улучшения плана.

Приведем пример решения задачи на составление производственного плана методами линейного программирования.

Задача. Изготовление двух видов продукции P_1 и P_2 требует использования четырех видов сырья: S_1 , S_2, S_3 и S_4. Запас сырья каждого вида ограничен. Запасы и расход сырья на изготовление единицы продукции заданы в табл. 4.2. Доход от реализации единицы продукции P_1 составляет 7 у. е., а от реализации единицы продукции P_2 – 5 у. е. Требуется составить такой план выпуска продукции, при котором доход предприятия от реализации продукции максимален.

Таблица 4.2

Вид сырья	Запас сырья	Расход сырья на изготовление продукции	
		P_1	P_2
S_1	19	2	3
S_2	13	2	1
S_3	15	0	3
S_4	18	3	0

В общем случае решение задач подобного типа складывается из двух этапов:

1-й этап – нахождение какого-либо начального опорного плана X_0;

2-й этап – улучшение начального плана и определение оптимального опорного плана (по специальным правилам перехода от начального опорного плана X_0 к другому, более близкому к оптимальному опорному плану X_1, затем к следующему X_2 и так далее до тех пор, пока задача не будет решена).

Именно этот оптимальный план и отыскивается симплекс-методом в результате упорядоченного перебора опорных планов. Упорядоченность понимается в том смысле, что при переходе от одного опорного плана к другому соответствующие им значения целевой функции возрастают (не убывают). Поскольку общее число опорных планов ограничено, то через

конечное число шагов будет либо найден оптимальный опорный план, либо установлено, что задача неразрешима.

Составим математическую модель данной задачи. Пусть x_1 – количество единиц продукции P_1, а x_2 – количество единиц продукции P_2. Тогда ограничения на ресурсы можно записать в виде системы неравенств [4.1]:

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 19, \\ 2x_1 + x_2 \leq 13, \\ 0x_1 + 3x_2 \leq 15, \\ 3x_1 + 0x_2 \leq 18. \end{cases} \qquad [4.1]$$

Переменные x_1 и x_2 должны удовлетворять условиям:

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

Доход от реализации продукции – целевая функция z – выглядит следующим образом:

$$z = 7x_1 + 5x_2. \qquad [4.2]$$

В данной задаче целевая функция z должна быть максимизирована.

Приведем задачу к канонической форме: преобразуем систему неравенств в систему равенств при помощи введения балансовых неотрицательных переменных x_3, x_4, x_5, x_6. В результате из системы [4.1] получим следующую систему уравнений [4.3]:

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 19, \\ 2x_1 + x_2 + x_4 = 13, \\ 0x_1 + 3x_2 + x_5 = 15, \\ 3x_1 + 0x_2 + x_6 = 18. \end{cases} \qquad [4.3]$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0, x_5 \geq 0, x_6 \geq 0\ .$$

$$z = 7x_1 + 5x_2 \rightarrow max.$$

Найдем первое неотрицательное решение задачи. Для этого сначала найдем общее решение системы линейных уравнений. В качестве базисных (основных) переменных удобно взять x_3, x_4, x_5, x_6. Имеем:

$$\begin{cases} x_3 = 19 - 2x_1 - 3x_2, \\ x_4 = 13 - 2x_1 - x_2, \\ x_5 = 15 - 0x_1 - 3x_2, \\ x_6 = 18 - 3x_1 - 0x_2. \end{cases} \qquad [4.4]$$

Приравняв свободные (неосновные) переменные x_1 и x_2 в системе [4.4] к нулю, получим первое неотрицательное базисное решение (опорный план):

$$x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 19, x_4 = 13, x_5 = 15, x_6 = 18.$$

Этот ответ можно записать в более коротком виде: (0, 0, 19, 13, 15, 18).

В таком случае целевая функция

$$z = 7x_1 + 5x_2 = 7 \cdot 0 + 5 \cdot 0 = 0. \qquad [4.5]$$

Заметим, что если перевести переменную x_1 в базисные и придать ей ненулевое значение, то значение целевой функции при этом возрастет.

До каких пределов можно увеличивать значение x_1, при условии, что балансовые переменные x_3, x_4, x_5, x_6 должны быть неотрицательными?

Анализируя систему уравнений [4.4] и принимая x_2 равным 0, мы видим, что первое уравнение системы позволяет увеличивать x_1 до 19/2, второе – до 13/2, третье – не ограничивает рост x_1, четвертое – до 6. Получается, что четвертое уравнение дает наименьшее значение и ограничивает рост x_1. Из этого уравнения

$$x_1 = 6 - (1/3)x_6. \qquad [4.6]$$

При этом переменная x_1 переходит в базисные, а x_6 становится свободной.

Исключим из остальных уравнений системы [4.4] и из выражения [4.5] для целевой функции z переменную x_1, используя уравнение [4.6]:

$$\begin{cases} x_1 = 6 - (^1/_3)x_6, \\ x_3 = 7 - 3x_2 + (^2/_3)x_6, \\ x_4 = 1 - x_2 + (^2/_3)x_6, \\ x_5 = 15 - 3x_2. \end{cases} \qquad [4.7]$$

$$z = 42 + 5x_2 - (^7/_3)x_6. \qquad [4.8]$$

После преобразования переменные x_2 и x_6 перешли в разряд свободных, и их можно приравнять к 0. Получившийся при этом опорный план можно записать в виде (6, 0, 7, 1, 15, 0). Целевая функция [4.8] при этом $z = 7x_1 + 5x_2 = 7 \cdot 6 + 5 \cdot 0 = 42$ – возросла, но ее можно еще увеличить за счет перевода переменной x_2 из свободных в базисные (то есть придав ей не нулевое, а положительное значение). Система уравнений [4.7] определяет при этом предел увеличения переменной x_2: в первое уравнение x_2 не входит, второе ограничивает значение до 7/3, третье – до 1, четвертое – до 5. Получается, что предел увеличения x_2 дает третье равенство системы [4.7]. Из него следует, что

$$x_2 = 1 - x_4 + \left(^2/_3\right)x_6. \qquad [4.9]$$

То есть x_2 теперь базисная переменная, а x_4 и x_6 – свободные. Выразим через них оставшиеся свободные переменные x_1, x_3, x_5 в системе [4.7] и целевую функцию z [4.8]:

$$\begin{cases} x_1 = 6 - (^1/_3)x_6, \\ x_2 = 1 - x_4 + (^2/_3)x_6, \\ x_3 = 4 + 3x_4 - (^4/_3)x_6, \\ x_5 = 12 + 3x_4 - 2x_6. \end{cases} \qquad [4.10]$$

$$z = 47 - 5x_4 + x_6. \qquad [4.11]$$

Теперь получим базисный план, приняв значения свободных переменных x_4 и x_6 в системе [4.10] равными 0. Он выглядит следующим образом: (6, 1, 4, 0, 12, 0). Целевая функция [4.2] $z = 7x_1 + 5x_2 = 7 \cdot 6 + 5 \cdot 1 = 47$ еще увеличилась. Дальнейшее ее увеличение возможно (как видно из [4.11]) за счет увеличения x_6, поэтому переводим ее в базисные переменные, а x_3 делаем свободной.

Получаем следующую систему ограничений:

$$\begin{cases} x_1 = 5 + (^1/_4)x_3 - (^3/_4)x_4, \\ x_2 = 3 - (^1/_2)x_3 + (^1/_2)x_4, \\ x_5 = 6 + (^3/_2)x_3 - (^3/_2)x_4, \\ x_6 = 3 - \left(^3/_4\right)x_3 + (^9/_4)x_4. \end{cases} \qquad [4.12]$$

В этом случае

$$z = 50 - \left(^3/_4\right)x_3 - (^{11}/_4)x_4. \qquad [4.13]$$

Из системы [4.12] получаем новый базисный план: (5, 3, 0, 0, 6, 3). Коэффициенты при свободных переменных x_3 и x_4 в функции z [4.13] отрицательные, значит, увеличивать за счет их увеличения целевую функцию невозможно. Это также означает, что целевая функция достигла максимального значения и получен оптимальный план выпуска продукции: $z = 7x_1 + 5x_2 = 7 \cdot 5 + 5 \cdot 3 = 50$. Значения введенных балансовых переменных x_3, x_4, x_5, x_6 не важны.

Приведенные расчеты показывают, что максимальную прибыль в 50 у. е. предприятие получит, если произведет 5 единиц продукции P_1 и 3 единицы продукции P_2.

Контрольные вопросы и задания по теме 4

1. Что изучает линейное программирование?
2. Что называется стандартной задачей линейного программирования?
3. Как можно свести основную задачу линейного программирования к канонической форме?
4. Что понимают под моделированием задачи в математическом программировании?
5. Что такое целевая функция и как ее получить?
6. Приведите примеры задач, которые решаются методами линейного программирования.
7. Предприятие производит два вида микроскопов: модели М1 и М2. При этом цех по сборке микроскопов М1 имеет мощность 100 штук в год, а цех по сборке микроскопов М2 – 30 штук в год. Цеха завода оснащены взаимозаменяемым оборудованием, и одна группа цехов может производить либо детали для 120 микроскопов М1, либо детали для 40 микроскопов М2, либо любую комбинацию деталей, ограниченную этими данными. Другая группа цехов может выпускать детали либо для 80 микроскопов

М1, либо для 60 микроскопов М2, либо любую допустимую их комбинацию. В результате реализации каждого микроскопа М1 предприятие получает прибыль в 2 у. е., а при реализации каждого микроскопа М – 3 у. е. Найдите такую комбинацию выпуска микроскопов М1 и М2, которая дает предприятию наибольшую сумму прибыли.

8. Необходимо из трех сплавов А, В, С получить ювелирный сплав с содержанием золота не менее 30 % и самый дешевый по цене. В каких процентных соотношениях нужно взять три сплава, характеристики которых приведены в табл. 4.3?

Таблица 4.3

Сплав	Содержание золота, %	Цена, у. е.
Сплав А	10	10
Сплав В	25	40
Сплав С	40	60

9. На производстве выпускается продукция двух видов, которая изготавливается из четырех видов сырья: S1, S2, S3, S4. В табл. 4.4 приведены данные о запасе и расходе сырья на изготовление продукции каждого вида. Составьте план выпуска, позволяющий получить максимальную прибыль, и найдите ее, если известно, что прибыль от реализации I вида продукции – 9 у. е., а II вида – 5 у. е.

Таблица 4.4

Вид сырья	Запас сырья	Расход сырья на I вид продукции	Расход сырья на II вид продукции
S1	30	4	3
S2	18	3	0
S3	10	1	2
S4	20	3	1

ТЕМА 5. ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ. ДИНИМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Динамическое программирование – это метод нахождения оптимальных решений многошаговых процессов путем разбиения их на более простые подзадачи. Динамическое программирование сформировалось в начале 50-х годов XX века благодаря работам американского математика Р. Беллмана.

Чтобы решить поставленную задачу, требуется решить отдельные подзадачи, после чего объединить решения подзадач в одно общее решение. Причем часто многие из этих подзадач одинаковы. Подход динамического программирования состоит в том, чтобы решить каждую подзадачу только один раз, сократив тем самым количество вычислений. Это особенно полезно в случаях, когда число повторяющихся подзадач экспоненциально велико.

Под **подзадачей** понимается та же постановка задачи, но с меньшим числом параметров или с тем же числом параметров, но при этом хотя бы один из них имеет меньшее значение.

Динамическое программирование, в отличие от линейного программирования, может быть применимо к задачам оптимизации, в которых решением является **последовательность шагов**, приводящая к достижению экстремума (минимума или максимума) целевой функции.

Динамическое программирование обычно придерживается двух подходов к решению задач:

- нисходящее динамическое программирование: задача разбивается на подзадачи меньшего размера, они решаются и затем комбинируются для решения исходной задачи. Используется запоминание для решений уже решенных подзадач;
- восходящее динамическое программирование: все подзадачи, которые впоследствии понадобятся для решения исходной задачи, просчитываются заранее и затем используются для построения решения исходной

задачи. Этот способ лучше нисходящего программирования в смысле размера необходимых данных и количества вызова функций, но иногда бывает нелегко заранее выяснить, решение каких подзадач нам потребуется в дальнейшем.

Выделим основные свойства задач, в которых можно применять этот подход [9]:

1. Задача должна допускать интерпретацию как многошаговый процесс принятия решения.

2. Задача должна быть определена для любого числа этапов (шагов) и иметь структуру, не зависящую от их числа.

3. При рассмотрении задачи на каждом шаге должно быть задано множество параметров, описывающих состояние системы.

4. Выбор решения (управления) на каждом шаге не должен оказывать влияния на предыдущие решения.

С помощью методов динамического программирования решаются задачи следующих типов:

– выбор оптимальной стратегии замены оборудования;
– задачи о составлении маршрутов;
– задачи на последовательности;
– задачи о распределении инвестиций;
– некоторые математические игры и др.

Приведем некоторые примеры формулировок задач, решаемых методом динамического программирования.

Выбор оптимальной стратегии замены оборудования.

Зная затраты предприятия на приобретение нового оборудования, а также зависимость производительности оборудования и затрат на его содержание и ремонт от времени эксплуатации, необходимо составить оптимальный план замены оборудования, при котором общая прибыль предприятия будет максимальной.

Задача на последовательности.

Последовательность Фибоначчи – это математическая последовательность, каждый элемент которой F_n равен сумме двух предыдущих элементов. Необходимо найти F_n по номеру n.

Задача про старую компьютерную игру.

Во многих старых играх с двумерной графикой можно столкнуться с ситуацией: какой-нибудь герой прыгает по платформам (или островкам), которые висят в воздухе. Он должен перебраться от одного края экрана до другого. При прыжке с одной платформы на соседнюю у героя уходит $|y_2 - y_1|$ единиц энергии, где y_1 и y_2 – высоты, на которых расположены эти платформы. Также у героя есть суперприем, который позволяет перескочить через платформу, но на это затрачивается $3 \cdot |y_2 - y_1|$ единиц энергии. Конечно, энергию следует расходовать максимально экономно. Допустим, вам известны координаты всех платформ в порядке от левого края до правого. Какое минимальное количество энергии потребуется герою, чтобы добраться с первой платформы до последней?

Задача о распределении инвестиций.

Имеется определенный капитал, который можно полностью или частями инвестировать в различные проекты Известно, какую прибыль можно получить при вложении различных сумм в каждый из проектов. Необходимо распределить капитал между проектами таким образом, чтобы полученная прибыль была максимальной.

Задача о составлении маршрутов.

Представим граф, представляющий собой воображаемую карту дорог от дома до работы, вершинами которого являются точки пересечения дорог или перекрестки (A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{21}, A_{22}, A_{31}, A_{32}, A_{23}…) (рис. 5.1).

Необходимо добраться из дома на работу; сделать это следует за минимальное время, или, другими словами, – с помощью маршрута минимальной длины.

Все задачи в приведенных примерах решаются общим методом оптимизации, который известен как принцип оптимальности Беллмана (или принцип динамического программирования).

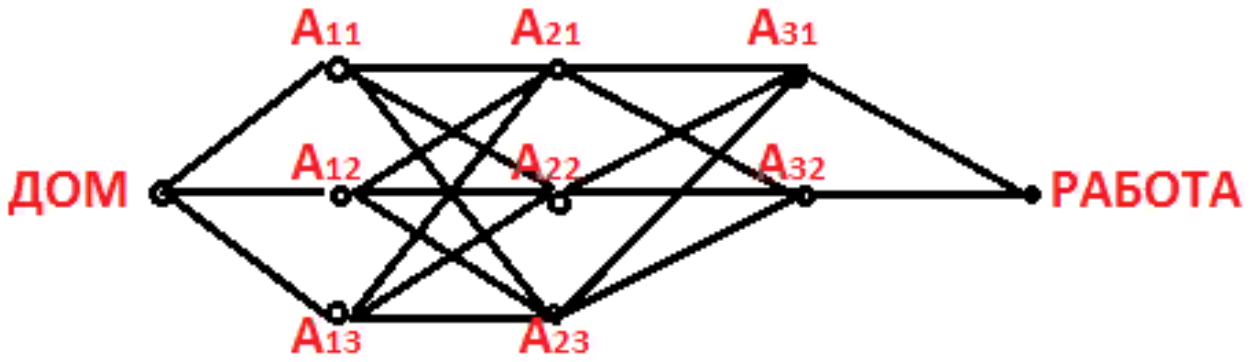

Рис. 5.1. Граф карты дорог

Для построения математической модели процесса и решения задачи введем понятия и обозначения.

Операция – управляемое мероприятие, направленное на достижение некоторой цели.

Рассматривается некоторый **управляемый процесс**. В результате управления система X переходит из начального состояния x_0 в конечное состояние x_N.

Набор состояний процесса $x = [x_0, x_1, \ldots, x_N]$ называется **траекторией процесса**.

Управление u (решение) можно также разбить на N шагов, то есть решение u_i принимается последовательно на каждом шаге и схематично может быть представлено, как на рис. 5.2,

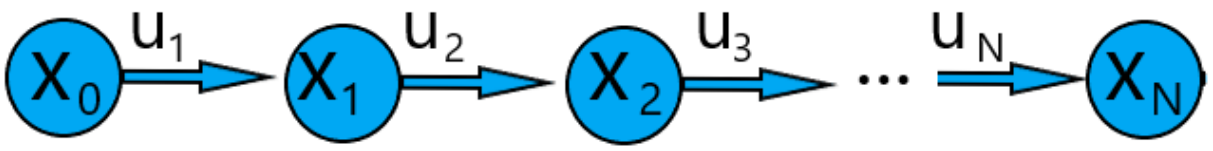

Рис. 5.2. Шаги управления (решения)

где u_i – управление (решение) на i-том шаге, где $i = 1, 2, \ldots, N$;

$u = (u_1, u_2, \ldots, u_N)$ – управление, переводящее систему из состояния x_0 в состояние x_N .

Управление, на котором достигается экстремальное значение некоторой функции *H* при заданных ограничениях, – это **оптимальное управление процесса** из начального состояния x_0, обозначим $u^* = (u^*_1, u^*_2, \ldots, u^*_N)$. Иногда для обозначения траектории при оптимальном решении используют верхние индексы.

При выборе управления необходимо учитывать, в каком состоянии находится процесс, так как управление на i-том шаге $u_i = u_i(x_{i-1})$, то есть зависит от состояния процесса после предыдущего шага. Если представить управление как функцию состояния, то его называют **стратегия**. Стратегия, при которой достигается экстремальное значение функции *H* – это **оптимальная стратегия**.

Коротко принцип оптимальности Беллмана можно сформулировать так: оптимальная стратегия обладает таким свойством, что каковы бы ни были начальное состояние и начальное управление, последующее решение должно определять оптимальную стратегию относительно состояния, полученного в результате первоначального управления.

Допустим, что $u^*_1(x_0)$, $u^*_2(x_1)$, …, $u^*_N(x_{N-1})$ – оптимальная стратегия в N-шаговом процессе из состояния x_0 с начальным управлением u_1. Тогда на 1-м шаге реализуется состояние $x_1 = g^1(x_0,u_1)$, где g – функция перехода на i-ом шаге. Принцип оптимальности утверждает, что стратегия $u^*_2(x_1)$, …, $u^*_N(x_{N-1})$ будет являться оптимальной стратегией в (N – 1)-шаговом процессе из состояния x_1.

Введем обозначения: $f_N(x)$ – оптимальное значение функции *H* в N-шаговом процессе из состояния x, где $H = \sum_{i=1}^{N} h^i\,(x_{i-1}, u_i)$, тогда как $h^i(x_{i-1}, u_i)$ – заданные вещественные функции на каждом шаге.

Исходя из принципа оптимальности, составим систему уравнений Беллмана:

$$\begin{cases} f_N(x) = \min(max)\left[h^1(x,u) + f_{N-1}\left(g^1(x,u)\right)\right], \\ f_0(x) = 0. \end{cases} \qquad [5.1]$$

Решаются уравнения Беллмана последовательно, и процесс решения представляет собой построение последовательности функций:

$$f_1(x) = \min(max) h^N(x,u),$$
$$f_2(x) = min(max)\left[h^{N-1}(x,u) + f_1\left(g^{N-1}(x,u)\right)\right],$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$f_k(x) = min(max)\left[h^{N-k+1}(x,u) + f_{k-1}\left(g^{N-k+1}(x,u)\right)\right], \qquad [5.2]$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$f_N(x) = min(max)\left[h^1(x,u) + f_{N-1}\left(g^1(x,u)\right)\right].$$

При этом $f_N(x) = mi\,n(max)\,H(x_0, u_1, u_2, \ldots, u_N)$.

Если данная последовательность уравнений решается по алгоритму прямой прогонки, то в ходе решения строятся функции f_k, а при обратной прогонке находят последовательность управлений $u^*_k(x_{k-1})$.

Рассмотрим на примере решение конкретной задачи о распределении капиталовложений методом Беллмана.

Условие задачи. Фирма располагает капиталом А = 5 у. е., который предполагается вложить в четыре различных проекта. Пусть u_i – количество капитала, направляемого в i -й проект, i = 1, 2, … . Прибыль от вложения капитала в различные проекты определяется функциями $h_1(u_1)$, $h_2(u_2)$, $h_3(u_3)$, $h_4(u_4)$, выраженными в у. е. (табл. 5.1):

Таблица 5.1

u_i	$h_1(u_1)$	$h_2(u_2)$	$h_3(u_3)$	$h_4(u_4)$
0	0	0	0	0
1	0,28	0,25	0,15	0,2
2	0,45	0,41	0,25	0,33
3	0,65	0,55	0,4	0,42
4	0,78	0,65	0,5	0,48
5	0,9	0,75	0,62	0,53

Требуется так распределить капитал между проектами, чтобы получить максимальную прибыль.

Решение задачи. Для формализации задачи динамического программирования введем обозначения и построим ее математическую модель:

А – общий капитал фирмы;

u_i – капитал, вложенный в i-ый проект (управление);

h_i – прибыль от вложения капитала в i-ый проект;

x_i – суммарный капитал, вложенный в проекты 1, 2, …, i;

$f_k(x_i)$ – прибыль от освоения капитала x_i, вложенного в k проектов при использовании оптимальной стратегии.

Тогда условие задачи можно записать в виде:

$$\max\big(h_1(u_1) + h_2(u_2) + h_3(u_3) + h_4(u_4)\big) - ?,$$
$$u_1 + u_2 + u_3 + u_4 = A,$$
$$u_i \geq 0, i = 1, 2, 3, 4\ (i = \overline{1,4}).$$

Определим общую прибыль (в у. е.) как максимум прибыли от вложения в различные комбинации проектов:

$$f_1(x_1) = \max(h_1(u_1)), 0 \leq x_1 \leq A;$$
$$f_2(x_2) = \max(h_2(u_2) + f_1(x_2 - u_2)), 0 \leq x_2 \leq A;$$
$$f_3(x_3) = \max(h_3(u_3) + f_2(x_3 - u_3)), 0 \leq x_3 \leq A;$$
$$f_4(x_4) = \max(h_4(u_4) + f_3(x_4 - u_4)), 0 \leq x_4 \leq A.$$

(Рассмотрение значений $0 \leq x_i \leq A$ позволяет попутно определить оптимальное распределение любого целочисленного капитала, меньшего А).

Построим $f_k(x)$, где k = 1, 2, …, N, применяя алгоритм прямой прогонки в несколько этапов. Вычисления по методу динамического программирования могут быть представлены в виде таблиц.

Этап 1. Находим $f_1(x_1)$. В данном случае они совпадают со значениями $h_1(u_1)$.

Результат первого этапа оформим в табл. 5.2.

Таблица 5.2

x_1	$h_1(u_1)$	$f_1(x_1)$
0	0	0
1	0,28	0,28
2	0,45	0,45
3	0,65	0,65
4	0,78	0,78
5	0,9	0,9

Этап 2. Используя принцип оптимальности [5.1], найдем последовательно функции, аналогично [5.2]. На данном этапе это будет функция $f_2(x_2)$:

$$f_2(1) = max\{f_1(0) + h_2(1), f_1(1) + h_2(0)\} = max\{0{,}25; 0{,}28\} = 0{,}28;$$

$$f_2(2) = max\{f_1(0) + h_2(2), f_1(1) + h_2(1), f_1(2) + h_2(0)\}$$
$$= max\{0{,}45; 0{,}25 + 0{,}28; 0{,}41\} = 0{,}53;$$

$$f_2(3) = max\{f_1(0) + h_2(3), f_1(1) + h_2(2), f_1(2) + h_2(1), f_1(3) + h_2(0)\}$$
$$= max\{0{,}55; 0{,}28 + 0{,}41; 0{,}25 + 0{,}45; 0{,}65\} = 0{,}70;$$

$$f_2(4) = max\{f_1(0) + h_2(4), f_1(1) + h_2(3), f_1(2) + h_2(2), f_1(3) + h_2(1), f_1(4) + h_2(0)\}$$
$$= max\{0{,}65; 0{,}28 + 0{,}55; 0{,}45 + 0{,}41; 0{,}25 + 0{,}65; 0{,}78\}$$
$$= 0{,}90;$$

$$f_2(5) = max\{f_1(0) + h_2(5), f_1(1) + h_2(4), f_1(2) + h_2(3), f_1(3) + h_2(2), f_1(4) + h_2(1), f_1(5) + h_2(0)\}$$
$$= max\{0{,}75; 0{,}28 + 0{,}65; 0{,}45 + 0{,}55; 0{,}41 + 0{,}65; 0{,}78 + 0{,}25; 0{,}9\} = 1{,}06.$$

После этого этапа имеем результат, представленный в табл. 5.3.

Таблица 5.3

x_2	$h_1(u_1)$	$h_2(u_2)$	$f_2(x_2)$	(u_1,u_2)
0	0	0	0	(0,0)
1	0,28	0,25	0,28	(1,0)
2	0,45	0,41	0,53	(1,1)
3	0,65	0,55	0,7	(2,1)
4	0,78	0,65	0,9	(3,1)
5	0,9	0,75	1,06	(3,2)

Этап 3. Находим $f_3(x_3)$:

$$f_3(1) = max\{f_2(0) + h_3(1), f_2(1) + h_3(0)\} = max\{0{,}15; 0{,}28\} = 0{,}28;$$

$$f_3(2) = max\{f_2(0) + h_3(2), f_2(1) + h_3(1), f_2(2) + h_3(0)\}$$
$$= max\{0{,}25; 0{,}28 + 0{,}15; 0{,}53\} = 0{,}53;$$

$$f_3(3) = max\{f_2(0) + h_3(3), f_2(1) + h_3(2), f_2(2) + h_3(1), f_2(3) + h_3(0)\}$$
$$= max\{0{,}4; 0{,}28 + 0{,}25; 0{,}53 + 0{,}15; 0{,}7\} = 0{,}70;$$

$$f_3(4) = max\{f_2(0) + h_3(4), f_2(1) + h_3(3), f_2(2) + h_3(2), f_2(3)$$
$$+ h_3(1), f_2(4) + h_3(0)\}$$
$$= max\{0{,}5; 0{,}28 + 0{,}4; 0{,}53 + 0{,}25; 0{,}15 + 0{,}7; 0{,}9\} = 0{,}90;$$

$$f_3(5) = max\{f_2(0) + h_3(5), f_2(1) + h_3(4), f_2(2) + h_3(3), f_2(3)$$
$$+ h_3(2), f_2(4) + h_3(1), f_2(5) + h_3(0)\}$$
$$= max\{0{,}62; 0{,}28 + 0{,}5; 0{,}53 + 0{,}4; 0{,}7 + 0{,}25; 0{,}9 + 0{,}15; 1{,}06\}$$
$$= 1{,}06.$$

Имеем результат в виде табл. 5.4.

Таблица 5.4

x_3	$h_3(u_3)$	$f_2(x_2)$	(u_1,u_2)	$f_3(x_3)$	(u_1,u_2,u_3)
0	0	0	(0,0)	0	(0,0,0)
1	0,15	0,28	(1,0)	0,28	(1,0,0)
2	0,25	0,53	(1,1)	0,53	(1,1,0)
3	0,4	0,7	(2,1)	0,7	(2,1,0)
4	0,5	0,9	(3,1)	0,9	(3,1,0)
5	0,62	1,06	(3,2)	1,06	(3,2,0)

Этап 4. Находим $f_4(x_4)$:

$$f_4(1) = max\{f_3(0) + h_4(1), f_3(1) + h_4(0)\} = max\{0{,}2; 0{,}28\} = 0{,}28;$$

$$f_4(2) = max\{f_3(0) + h_4(2), f_3(1) + h_4(1), f_3(2) + h_4(0)\}$$
$$= max\{0{,}33; 0{,}28 + 0{,}2; 0{,}53\} = 0{,}53;$$

$$f_4(3) = max\{f_3(0) + h_4(3), f_3(1) + h_4(2), f_3(2) + h_4(1), f_3(3) + h_4(0)\}$$
$$= max\{0{,}42; 0{,}28 + 0{,}33; 0{,}53 + 0{,}2; 0{,}7\} = 0{,}73;$$

$$f_4(4) = max\{f_3(0) + h_4(4), f_3(1) + h_4(3), f_3(2) + h_4(2), f_3(3)$$
$$+ h_4(1), f_3(4) + h_4(0)\}$$
$$= max\{0{,}48; 0{,}28 + 0{,}42; 0{,}53 + 0{,}33; 0{,}2 + 0{,}7; 0{,}9\} = 0{,}90;$$

$$f_4(5) = max\{f_3(0) + h_4(5), f_3(1) + h_4(4), f_3(2) + h_4(3), f_3(3)$$
$$+ h_4(2), f_3(4) + h_4(1), f_3(5) + h_4(0)\}$$
$$= max\{0{,}53; 0{,}28 + 0{,}48; 0{,}53 + 0{,}42; 0{,}7 + 0{,}33; 0{,}9$$
$$+ 0{,}2; 1{,}06\} = 1{,}1.$$

После четвертого этапа имеем табл. 5.5:

Таблица 5.5

x_4	$h_4(u_4)$	$f_3(x_3)$	(u_1,u_2,u_3)	$f_4(x_4)$	(u_1,u_2,u_3,u_4)
0	0	0	(0,0,0)	0	(0,0,0,0)
1	0,2	0,28	(1,0,0)	0,28	(1,0,0,0)
2	0,33	0,53	(1,1,0)	0,53	(1,1,0,0)
3	0,42	0,7	(2,1,0)	0,73	(2,1,0,1)
4	0,48	0,9	(3,1,0)	0,9	(3,1,0,0), (2,1,0,1)
5	0,53	1,06	(3,2,0)	1,1	(3,1,0,1)

Анализируя данные табл. 5.5, сформулируем окончательный ответ задачи: максимальная прибыль от освоения капитала А = 5 у. е. равна f_4 = 1,1 у. е. Оптимальное управление (решение о распределении капитала) в этом случае выглядит так: $(u_1^*, u_2^*, u_3^*, u_4^*) = (3{,}1{,}0{,}1)$. Расшифровывается

ответ следующим образом: для достижения максимального эффекта в I проект нужно вложить 3 у. е., во II – 1 у. е., в III – 0 у. е., в IV – 1 у. е.

Как видно из данного примера, метод Беллмана позволяет, решая поэтапно простые однотипные задачи, найти оптимальное решение многих более сложных задач. На практике задачи математического программирования решаются по еще более простым алгоритмам, разработанным для каждого конкретного типа задач.

Контрольные вопросы и задания по теме 5

1. Что такое динамическое программирование и в чем заключается суть этого метода?

2. Приведите примеры задач, которые решаются методом динамического программирования.

3. Что общего и чем отличаются методы линейного и динамического программирования?

4. В начальный момент времени к = 0 на предприятии установлено новое оборудование. Зависимость его производительности и затрат на содержание и ремонт от времени эксплуатации приведена в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Возраст оборудования, годы	0	1	2	3	4	5
Годовой выпуск продукции R (t), у. е.	80	75	65	60	60	55
Ежегодные затраты C(t), у. е.	20	25	30	35	45	55

Зная, что затраты, связанные с приобретением и установкой такого же нового оборудования составляют р = 40 у. е., а заменяемое оборудование

списывается, составить такой план замены оборудования в течение 5 лет, при котором общая прибыль за данный период максимальна.

5. На три базы A_1, A_2, A_3 поступил груз в количествах равных 140, 160, 120 единиц. Этот груз требуется перевезти в четыре пункта назначения B_1, B_2, B_3, B_4 в количествах 150, 90, 100, 80 соответственно. Тарифы перевозок (в условных денежных единицах) представлены матрицей

$$C=\begin{bmatrix} 2 & 3 & 4 & 2 \\ 8 & 4 & 1 & 4 \\ 9 & 7 & 3 & 6 \end{bmatrix}.$$

Найдите оптимальный план перевозок.

ТЕМА 6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Каждое принимаемое решение, к какой бы области деятельности оно ни относилось, проверяется на экономическую целесообразность, критерием которой является экономический эффект или экономическая эффективность.

Экономические показатели дают обобщенную оценку конструкции новой системы. Они помогают перейти от многочисленных отдельных технических параметров к оценке всей конструкции в целом. Экономическое значение многих технических параметров может выражаться следующими измерителями:

– прибыль от реализации изделий – чистая прибыль;

– годовая и среднегодовая рентабельность капитальных вложений на создание новых изделий;

– период окупаемости капитальных вложений;

– ожидаемый экономический эффект (сравнительный годовой от внедрения разработанных изделий, интегральный);

– внутренняя норма рентабельности затрат на создание новых изделий.

Экономические показатели дают обобщенную оценку в денежном выражении самых разнообразных достоинств и недостатков системы нового типа, помогают исследовать различные варианты конструкции и экономически оценить правильность принятия решения каждой новой технической идеи.

Основным обобщающим показателем, характеризующим эффективность новых технических решений, является показатель экономического эффекта, в котором находят отражение все частные показатели эффективности. Реально экономический эффект нового технического решения (НТР) проявляется после внедрения и использования этого решения, т. е. по завершении цикла «исследование – разработка – внедрение – использование» [17].

Экономический эффект от использования научных, научно-технических и инновационных разработок – категория, характеризующая превышение результатов от их реализации над затратами по их получению за определенный промежуток времени.

Экономическая эффективность коммерциализации проекта – отношение экономического эффекта к суммарным издержкам на создание, освоение и внедрение научной, научно-технической и инновационной продукции (инноваций).

Инвестиции – это вложения денежных средств для получения прибыли и (или) достижения иного полезного эффекта (социального, экологического и т. п.).

Пример классификации инвестиций приведен в табл. 6.1. Жирным шрифтом выделены те виды инвестиций, которые наиболее характерны при принятии технических решений [18].

Таблица 6.1

Классификационный признак	Вид инвестиций	Характеристика
1	2	3
По объему инвестирования	**Реальные** (кап. вложения)	Вложения в создание реальных активов: научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (для реализации конкретного мероприятия); основные фонды; материально-производственные запасы; подготовка кадров
	Финансовые	Вложения в финансовые инструменты: ценные бумаги, банковские депозиты, иностранная валюта, драгоценные металлы
По сроку жизни инвестиций	Краткосрочные	Менее года
	Долгосрочные	Более года
По форме собственности	**Частные**	Инвесторы – юридические или физические лица
	Государственные	Федеральные, муниципальные

Окончание табл. 6.1

Классификационный признак	Вид инвестиций	Характеристика
По характеру участия инвестора в инвестиционном процессе	**Прямые**	Инвестор непосредственно участвует в выборе объектов вложения капитала
	Косвенные	Объекты инвестирования выбирает посредник (инвестиционный фонд)
По цели инвестирования = по степени риска	Вынужденные инвестиции (риск близок к нулю)	Капитальные вложения для удовлетворения требований государственных органов управления: соблюдение экологических стандартов, безопасности продукции или условий труда и т. п.
	Низкий риск	Капитальные вложения в **повышение эффективности производства** (замена оборудования, обучение персонала или совершенствование организации производства)
	Средний риск	Капитальные вложения в **расширение производства** (увеличение выпуска продукции на существующих производствах: новые технологические решения, дополнительное оборудование)
	Высокий риск	Капитальные вложения в **создание новых производств**

Как определить, выгодны ли инвестиции в проект? Рассмотрим конкретный пример.

В первый год инвестор вкладывает в некоторый проект, рассчитанный на 3 года, 1 млн руб. Во второй год он планирует получить доход 500 тыс. руб., а в третий год – доход 650 тыс. руб. При этом ежегодная инфляция составляет 10 %. Есть ли смысл участвовать в этом проекте, если цель инвестора – лишь сберечь деньги от инфляции?

Результаты расчетов можно оформить в виде табл. 6.2.

Таблица 6.2

Параметр	1-й год	2-й год	3-й год
Инвестиции и доходы	–1000	500	650
Коэффициент дисконтирования (i = 10 %)	1	0,909	0,826
Инвестиции и доходы с учетом дисконтирования (фактора времени)	–1000	454,5	536,9
		991,4	

Вывод: доходы, полученные в будущем, не уберегут вложенные в данный проект средства от инфляции, так как полученная прибыль (с учетом инфляции) 991,4 тыс. руб. меньше, чем инвестируемая сумма 1 млн. руб.

Чтобы принять правильное решение, необходимо оценить проект по нескольким критериям эффективности. К самым основным критериям относятся:

• **Чистая дисконтированная стоимость** NPV (англ. net present value), рассчитанная по формуле [6.1] – объем средств, который фирма может получать сверх стоимости инвестиции, сохраняя безубыточность этой инвестиции. Инвестиционный проект следует принимать, если эта величина больше 1.

$$NPV = \frac{R}{(1+i)^t} - I_0, \qquad [6.1]$$

где NPV – чистая дисконтированная стоимость,

R – ожидаемый в будущем доход,

I_0 – первоначальные инвестиции,

I – ставка дисконтирования,

t – период времени.

• **Срок окупаемости проекта** PP (англ. Pay-Back Period) – отрезок времени, необходимый для возвращения в полном объеме вложенных в проект инвестиций [6.2].

$$PP = \frac{IC}{CF}, \qquad [6.2]$$

где PP – простой срок окупаемости, выраженный в годах (месяцах),

IC (англ. Invest Capital) – сумма первоначальных инвестиций,

CF (англ. Cash Flow) – ожидаемый среднегодовой (среднемесячный) денежный поток, рассчитывается как разность между доходом и расходами.

• **Рентабельность инвестиций** ROI (от англ. Return on investment) или простая норма прибыли, рассчитанная по формуле [6.3], позволяет установить факт прибыльности проекта и степень прибыльности (норматив – не менее 0.12).

$$\mathrm{ROI} = \frac{P}{I}, \qquad [6.3]$$

где ROI – рентабельность инвестиций,

P – чистая прибыль,

I – объем инвестиций.

• **Индекс рентабельности инвестиций** PI, рассчитываемый по формуле [6.4], используется при выборе одного проекта из альтернативных, имеющих сопоставимые условия реализации.

$$\mathrm{PI} = \frac{\mathrm{NPV}}{\mathrm{I}}, \qquad [6.4]$$

где NPV – чистая дисконтированная стоимость (суммарный денежный поток от проекта),

I – объем инвестиций.

Если PI > 1, то проект следует принять, если PI < 1 – отвергнуть. Результат PI = 1 означает, что в проекте не будет ни прибыли, ни убытков.

• **Годовой экономический эффект** Э – разность между годовой прибылью предприятия и величиной капитальных затрат на реализацию мероприятий (по внедрению или модернизации новой техники, технологии и т. д.). Этот показатель, рассчитанный по формуле [6.5], позволяет обосновать реальную выгоду от принятия решения по внедрению мероприятия в конкретном году.

$$Э = (C_1 - C_2)B_2 - E_н З_{ед}, \qquad [6.5]$$

где C_1, C_2 – себестоимость единицы продукции (работ, услуг) до и после реализации мероприятия, руб.,

B_2 – годовой объем выпуска продукции (работ) в натуральном выражении (штуки, литры, граммы и т. п.) после реализации мероприятия,

Ен – нормативный коэффициент эффективности инвестиций,

$З_{ед}$ – затраты единовременные, руб.

Приведем пример решения задачи на определение экономической эффективности проекта.

Затраты на внедрение новой технологии составили 95 000 000 руб. При этом качество материалов улучшилось, себестоимость снизилась на 3,3 руб. Определить годовой экономический эффект и срок окупаемости новой технологии, если годовой объем выпуска продукции составил 25 000 000 шт., а нормативный коэффициент сравнительной эффективности Ен = 1.

Решение.

Определим годовой экономический эффект Э по формуле [6.5]:

$$Э = (C_1 - C_2)B_2 - E_н З_{ед} = 3{,}3 \cdot 25\,000\,000 - 1 \cdot 95\,000\,000 =$$
$$= -12\,500\,000 \text{ (руб.)}.$$

Так как возможная прибыль меньше затрат, то годового эффекта нет.

Определим срок окупаемости по формуле [6.2]:

$$PP = \frac{IC}{CF} = \frac{95000000}{82500000} = 1{,}15 \text{ г.}$$

Срок окупаемости больше года, что еще раз подтверждает, что экономического эффекта реализации проекта нет.

Ответ: годового экономического эффекта от реализации проекта нет. Срок окупаемости равен 1,15 года.

Контрольные вопросы и задания по теме 6

1. По каким показателям можно оценить целесообразность принимаемого решения?

2. Что такое инвестиции? Перечислите виды инвестиций.

3. Чем экономический эффект отличается от экономической эффективности?

4. Имеются исходные данные для расчетов по некоторому проекту:

1-й год – инвестиции 1 млн руб.,

2-й год – доход 300 тыс. руб.,

3-й год – доход 350 тыс. руб.,

4-й год – доход 400 тыс. руб.

Ежегодная инфляция составляет 10 %. Цель инвестора – получить минимальную доходность в 2 % годовых. Примите решение о выгодности инвестирования данного проекта.

5. Какой минимальный доход необходимо получить на 4-й год участия в проекте (в предыдущей задаче), чтобы цель инвестора была достигнута?

6. Выбрать из предложенных (табл. 6.3) более выгодный вариант внедрения новой технологии по минимуму приведенных затрат, если нормативный коэффициент сравнительной эффективности $E_н$ = 0,15 (табл. 6.3).

Таблица 6.3

	Условн. обозн.	1-й вариант	2-й вариант
Годовой выпуск продукции (тыс. руб.)	В	100	200
Себестоимость единицы продукции (руб.)	С	25	10
Единовременные затраты (млн руб.)	$З_{ед}$	2	4

7. Предприятие в течение года выпускает 3 000 000 шт. продукции. Стоимость материалов изменилась с 0,25 руб. до 0,13 руб., а заработная плата уменьшилась на 0,007 руб./шт. Определить экономию на снижении себестоимости годового выпуска продукции при изменении технологического процесса.

8. На внедрение новой техники на предприятии было затрачено 1,2 млн руб., при этом себестоимость единицы продукции уменьшилась на 1,5 рубля, а объем выпуска продукции в год составил 100 000 шт. Рассчитайте годовой эффект от внедрения новой техники.

9. Единовременные затраты на внедрение нового оборудования составили 9 001 000 руб. Себестоимость продукции изменилась с 500 руб. до 498,8 руб. Объем выпуска продукции достиг 2 005 001 шт. Рассчитайте срок окупаемости от внедрения нового оборудования.

10. Общий объем инвестиций в открытие наноцентра: 50 млн руб. Предполагается, что среднегодовой доход будет составлять 500 тыс. руб. Необходимо рассчитать срок, за который окупятся вложенные средства.

11. Выбрать вариант проекта инвестирования, рассчитанного на 5 лет, из ряда альтернативных, данные по которым приведены в табл. 6.4

Таблица 6.4

Проект	Инвестиции	Ежегодный доход	Индекс рентабельности
А	500	150	
В	300	85	
С	800	220	

ТЕМА 7. ОСНОВЫ ТРИЗ

Если техническая задача требует использования новых или нешаблонных методов решения, то в таком случае речь идет об изобретательстве или техническом творчестве. Решение практически любой технической задачи содержит элементы творчества. Термин «техническое творчество» следует понимать в широком смысле – как творчество, связанное с поиском технических решений (ТР) конкретного технического объекта.

Окружающий нас вещественный мир, созданный разумом и руками человека, очень многообразен. Это многообразие относится не только к различным видам изделий и процессов, но и к моделям и модификациям одного вида, выполняющим одинаковую функцию.

Рост многообразия изготавливаемых изделий с развитием науки и техники – объективный процесс. Доктор технических наук, профессор А. И. Половинкин [13] приводит любопытные данные роста сложности мира техники, представленные в табл. 7.1 «Возрастание числа изделий и их сложности», и спрашивает: какие цифры читатель поставил бы в строчке «Через 100 лет»?

Таблица 7.1

Время	Приближенное число классов изделий	Среднее число различных деталей в наиболее сложных изделиях
100 000 лет назад	5	1
10 000 лет назад	50	10
1 000 лет назад	1000	100
Наше время	50000	10000
2100 год	?	?

Для несложных задач, решение которых находится в пределах одной профессии или отрасли, профессиональные знания играют большую роль. Но при решении сложных проблем они, наоборот, тормозят процесс изоб-

ретения. Это происходит потому, что изобретателю навязываются привычные представления об объекте, которые уводят его назад, в исследованную область, где вряд ли можно будет получить сильное, прорывное изобретение.

Бывает, что дилетант, незнакомый с ограничениями, присущими данной науке, способен совершить шаг в сторону, казалось бы, невозможного и сделать открытие. История полна примеров, когда именно непрофессионалы создавали изобретения, над которыми годами трудились плеяды известнейших ученых. Это пивовар Джоуль, моряк Можайский, цирюльник Пуассон, юрист Хаббл, врач д'Аламбер, сотрудник патентного бюро Эйнштейн и многие другие. ТРИЗ призывает каждого мыслить широко и не замыкаться на чем-то одном. Свежие идеи можно искать где угодно – в справочнике по биологии, художественном фильме, томике стихов или путешествии в другие земли.

Творческие инженерные задачи отличаются от типовых. Результат такого сравнения по некоторым критериям приведен в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Показатели сравнения задач	Инженерные задачи	
	четко определенные (типовые)	творческие
Постановка задачи	Имеется	Как правило, отсутствует
Метод (способ) решения	Как правило, указан	Не указан
Обучающий пример	Имеется	Отсутствует
Результат решения	Как правило, однозначен и известен	Как правило, многозначен и неизвестен

Все методы решения творческих инженерно-технических задач можно разбить на две большие группы:

– Эвристические методы технического творчества, которые снованы на использовании четко описанных методик и правил поиска новых тех-

нических решений. Сократ, Архимед, Ф. Бэкон, Р. Декарт, Г. Лейбниц. В настоящее время известны более 100 эвристических методов, методик, подходов.

– Компьютерные методы поискового конструирования, которые основаны на использовании ЭВМ в решении творческих инженерных задач. В настоящее время известны десятки подходов и методов поискового конструирования.

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ)

Для решения нестандартных технических задач была разработана специальная теория – ТРИЗ, направленная на создание эффективного алгоритма поиска решений.

ТРИЗ была основана Генрихом Сауловичем Альтшуллером и его коллегами. Это технология творчества, основанная на идее о том, что «изобретательское творчество связано с изменением техники, развивающейся по определенным законам» [3].

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) – это набор методов решения технических задач и усовершенствования технических систем.

Идея ТРИЗ заключается в том, что разные технические задачи иногда решаются одними и теми же методами. Основу ТРИЗа составляет перечень общих изобретательских приемов и стандартных шаблонов решений типовых задач.

Для решения конкретной задачи пользователи ТРИЗа приводят задачу к обобщенному виду, и уже ее пытаются решить подходящим общим методом, а позднее возвращаются к конкретной исходной задаче и к ней пытаются применить найденное решение.

Все разделы ТРИЗ можно разделить на две части: методы решения проблем и методы развития творческих качеств. Структурная схема ТРИЗ согласно этой классификации представлена в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Решение проблем	Развитие творческих качеств
⬇	⬇
Законы развития систем	Методы развития творческого воображения (РТВ)
АРИЗ	
Вепольный анализ	
Информационный фонд: – Система приемов – Эффекты – Стандарты	Теория развития творческой личности (ТРТЛ)
Диверсионный анализ	
ФСА (функционально-стоимостной анализ)	Теория развития творческих Коллективов (ТРТК)
Системный анализ и синтез: системный подход, анализ и синтез потребностей, функциональный анализ-синтез	

История становления ТРИЗа

Первая версия ТРИЗа была разработана в СССР советским инженером-изобретателем Генрихом Сауловичем Альтшуллером, который работал в патентном бюро и там проанализировал 40 тысяч патентов в попытке найти закономерности в процессе решения инженерных задач и появления новых идей. Работа над ТРИЗом была начата Альтшуллером в 1946 году, первая публикация была выпущена им в соавторстве с Рафаэлем Шапиро в 1956 году.

В это время развитие ТРИЗа происходило не в рамках науки, место полноценной научной дискуссии занимали активная общественная деятельность по популяризации ТРИЗа, публикация книг и проведение учебных семинаров. Так, Альтшуллер сам проводил занятия по ТРИЗу в 1948–1998 годах, а до 1970-х годов обучение ТРИЗу проходило преимущественно на экспериментальных семинарах.

В советский период дискуссия вокруг ТРИЗа не выходила за рамки закрытой группы его создателей, все возможные изменения в ТРИЗе одобрялись лично Альтшуллером. Несмотря на это, ТРИЗ использовался на практике в СССР.

В 1990-х годах ТРИЗ стал известен за пределами бывшего СССР, в том числе он начал применяться некоторыми международными компаниями, самый известный пример из которых – Samsung. Эта компания активно использует его при создании инноваций.

С одной стороны, ТРИЗ называют одним из наиболее развитых и результативных наборов методов, помогающих на начальном этапе инженерной деятельности; в то же время отмечается ограниченное применение ТРИЗа промышленными компаниями, а также слабая связь ТРИЗа с наукой.

Основные понятия ТРИЗа

Основная идея Альтшуллера состояла в том, что уже на первом этапе рассмотрения и описания технической (или изобретательской) ситуации, ее необходимо по определенным правилам переформулировать в изобретательскую задачу.

Грамотная формулировка задачи отсекала бесперспективные и неэффективные пути решения. Этот этап считался важнейшим и предопределял дальнейший ход решения задачи.

Суть метода заключалась в том, чтобы избегать существенных (и дорогих) изменений и рассматривать в первую очередь простейшие решения.

Приведем пример одного из эффективных технических решений. В XVII веке на реке Урал построили множество плотин с водяными колесами, приводившими в движение фабричные станки. В XIX веке фабрики оснастили паровыми машинами, а по реке решили пустить пароход. Но как убрать сваи, вбитые в дно? Это стволы лиственницы – сибирского дерева, которое в воде не гниет, а становится еще более прочным. И таких стволов, крепко затянутых илом, из дна реки торчит множество. Предла-

гали различные проекты: спустить в колоколе на дно людей с пилами, или собирать большой плот вокруг каждой сваи и тянуть ее вверх, или помещать сваю в трубу и растворять ее кислотой... Победил проект, в котором сваи были вытянуты сами собой. Вернее, не совсем сами, их помогла выдернуть река. К каждой свае крепкими канатами привязали бревна и оставили их плавать на поверхности воды. Зимой эти бревна вмерзли в лед, а весной, во время ледохода, они двинулись с места и, увлекаемые огромной энергией реки, выдернули из дна сваи.

Техническая система (ТС) – это искусственно созданное материальное единство закономерно организованных в пространстве и во времени и находящихся во взаимной связи элементов, имеющее целью своего функционирования удовлетворение некоторой общественной потребности [1].

Любая ТС, согласно приведенной классификации (рис. 7.1), входит в две системы отношений. С одной стороны, это объект материального мира, подчиняющийся законам природы (в первую очередь законам физики как наиболее общим); с другой стороны, ТС выступает как элемент общественных отношений, т. к. техника является лишь средством для осуществления социальных целей.

Рис. 7.1. Классификация систем

Элементы технических систем бывают искусственные (технические) и природные.

Технические задачи (с позиции ТРИЗа) делятся на стандартные и нестандартные.

Стандартные задачи решаются прямым применением законов развития технических систем или правил, вытекающих из этих законов.

Нестандартные задачи – это задачи, решение которых пока не поддается полной формализации.

Деление на типы зависит от современного состояния ТРИЗ. Задачи, являющиеся сегодня нестандартными, завтра – после выявления пока еще неизвестных закономерностей – станут задачами стандартными.

Согласно теории Альтшуллера, любая изобретательская ситуация должна превращаться в изобретательскую задачу.

Изобретательская ситуация – это ситуация с выделенными в ней недостатками (нежелательными эффектами). Например, постукивая на стыках рельс, движется поезд, перевозящий пассажиров. Шум колес и вибрация вагонов мешают пассажирам.

Изобретательская задача – это описание ситуации с указанием нежелательного эффекта, а также цели, которую необходимо достичь, и ограничений на способы достижения этой цели.

В данном случае для повышения комфортности пассажиров необходимо устранить в вагонах шум и вибрацию. При этом переходить к бесстыковому рельсовому пути слишком дорого.

Для решения изобретательской задачи она разбивается на мини-задачи.

Переформулировка задачи сводилась к ее более точному и конкретному описанию и анализу полученных данных. Этому способствовала постановка нескольких вопросов:

– Из каких частей состоит техническая система (ТС), как они взаимодействуют?

– Какие связи являются вредными, мешающими, какие – нейтральными и какие – полезными?

– Какие части и связи можно изменять и какие – нельзя?

– Какие изменения приводят к улучшению системы и какие – к ухудшению?

После того как задача была переформулирована и система проанализирована, согласно теории Альтшуллера, должно обнаруживаться, что попытки изменений с целью улучшения одних параметров системы приводят к ухудшению других параметров. В системе возникает конфликт, **техническое противоречие**.

Приведем примеры таких противоречий. Увеличение прочности крыла самолета может приводить к увеличению его веса, и наоборот – облегчение крыла приводит к снижению его прочности. Как поступить? Некоторые лекарства больным необходимо применять постоянно. Но малые дозы нужно принимать очень часто, что неудобно, а сразу выпить большую дозу – вредно для печени. Как поступить?

Противоречия в ТРИЗ

1. **Административное противоречие (АП)**: «*надо улучшить систему, но я не знаю, как (не умею, не имею права) сделать это*». Это противоречие является самым слабым и может быть снято либо изучением дополнительных материалов, либо принятием административных решений.

Пример. Произошел недобор студентов на факультет вуза. Дана система, включающая в себя организации: работодатели, другие вузы, СМИ, учителя, школьники 10–11-х классов, родители, меняющийся рынок труда, реформируемая программа высшего образования, факультет, преподаватели, сайты и т. д.

Требуется найти новые пути привлечения абитуриентов, но есть ограничения: запрещено использовать дополнительные финансовые ресурсы, увеличивать нагрузку на персонал сверх существующей, нанимать новых сотрудников.

2. **Техническое противоречие (ТП)**: *«улучшение одного параметра системы приводит к ухудшению другого параметра»*. Техническое противоречие – это и есть постановка изобретательской задачи. Переход от административного противоречия к техническому резко сужает поле поиска решений и позволяет перейти от метода проб и ошибок к алгоритму решения изобретательской задачи, который либо предлагает применить один или несколько стандартных технических приемов, либо (в случае сложных задач) указывает на одно или несколько физических противоречий.

Пример 1. В электронном микроскопе изображение получается с помощью пучка электронов. С одной стороны, чем пучок мощнее, тем лучше получается изображение; с другой стороны, мощный пучок электронов может модифицировать исследуемый образец и исказить изображение.

Пример 2. Боковые зеркала автомобиля должны быть большими, чтобы иметь хороший обзор. С другой стороны, они должны быть маленькими, чтобы не мешать движению автомобиля в плотном потоке машин.

3. **Физическое противоречие (ФП)**: *«для улучшения системы какая-то ее часть должна находиться в разных физических состояниях одновременно, что невозможно»*. Физическое противоречие является наиболее фундаментальным, потому что изобретатель упирается в ограничения, обусловленные физическими законами природы. Для устранения такого противоречия изобретатель должен воспользоваться специальным справочником физических эффектов и таблицей их применения.

Один из самых известных примеров решения задачи методами ТРИЗ: ***задача про Александрийский маяк*** [2].

Одно из чудес света – Александрийский маяк на египетском берегу Средиземного моря. Время разрушило маяк, но многие археологи утверждают, что он был высотой более 300 м. Несколько веков простоял маяк с надписью на вершине: «Для богов и во имя спасения моряков построил Состратос из Книда, сын Дексифона». Так звали строителя, и люди запомнили его имя на века. Но история помнит и другое. Когда строительство

маяка заканчивалось, Состратоса вызвал правитель и повелел: «Ты высечешь на маяке мое имя!».

Строителю было запрещено высекать свое имя, и он знал, что если он не выполнит приказа, то его казнят, а если выполнит, то потомки никогда не узнают имени настоящего автора маяка.

Строитель остался жив, но весь мир узнал его имя. Как это могло произойти?

Рассмотрим эту ситуацию с позиции ТРИЗа. Сформулируем противоречия задачи.

АП: Очень хочется увековечить свое имя, а правитель запретил это делать – он хочет увековечить свое имя.

ТП № 1: Если я выбью на стене свое имя, то увековечу его, что хорошо, но лишусь жизни, что недопустимо.

ТП № 2: Если я выбью на стене имя правителя, то не увековечу своего имени, что плохо, но при этом останусь жить, что хорошо.

Таким образом, приходим к двум противоречащим высказываниям, которые и составляют физическое противоречие.

ФП: На стене должно быть мое имя, чтобы его увидели потомки, на стене не должно быть моего имени, а должно быть имя правителя, чтобы меня не казнили.

С учетом противоречий эту задачу можно переформулировать следующим образом: пока жив правитель, надпись должна быть одна, а после его смерти – другая. Как это сделать?

Получается, что противоречащие требования, предъявляемые к объекту, относятся к разным моментам времени. Они разрешаются во времени введением в систему еще одного компонента – вещества, которое сначала должно быть, а потом должно исчезнуть.

Решение этой задачи такое: строитель вытесал на каменной стене свое имя, но закрыл его слоем известкового раствора, на котором написал имя правителя. Через несколько лет известняк выветрился и проступило имя «Состратос, сын Дексифона».

Идеальный конечный результат (ИКР) – результат, к которому нужно стремиться при решении изобретательской задачи. Это одно из фундаментальных понятий ТРИЗ, термин, определяющий ситуацию, когда нужный результат или действие происходит само собой без дополнительных затрат.

ИКР может быть таким: система сама (за счет ресурсов) выполняет нужное действие и при этом не допускает нежелательных эффектов. При формулировании ИКР желательно применять слово «Сам» (Сама, Само, Сами).

В ТРИЗ используется три основные формулировки ИКР:

1. «Система сама выполняет данную функцию».

Пример. Хлеб традиционно выпекают в специальных печах. Стоимость таких печей и затраты энергии на их нагрев очень велики. Изобретатели предложили нагревать сразу само тесто. Оказалось, что для этого есть определенный ресурс – тесто электропроводно. Если через него пропустить электрический ток, то будет выделяться тепло. Теперь выпечка происходит очень быстро, прямо при движении форм с тестом по конвейеру. Печь не нужна, существенно снижаются и затраты энергии.

2. «Системы нет, а функции ее выполняются (с помощью ресурсов)». Такси нет, а все пассажиры доставлены. На практике такой результат получили на сервисе поиска попутчиков blablacar, где все друг друга подвозят.

3. «Функция не нужна».

Степень достижения ИКР демонстрирует коэффициент идеальности, который должен быть как можно больше:

$$\textbf{коэффициент идеальности} = \frac{\textbf{сумма полезных функций}}{\textbf{затраты + нежелательные эффекты}}.$$

Именно поэтому Генри Форд платил ремонтным бригадам за то время, когда они **не** работали, а один древний философ говорил, что уровень

упадка города можно определить по количеству в нем юристов и врачей – чем их больше, тем ближе к упадку город. Ценность многих профессий состоит в их ненужности.

Контрольные вопросы и задания по теме 7

1. Что такое ТРИЗ?

2. Чем отличается изобретательская ситуация от изобретательской задачи?

3. Перечислите виды противоречий в ТРИЗ и приведите примеры для каждого вида.

4. Определите понятие «идеальный конечный результат». Перечислите основные формулировки ИКР.

5. Каким может быть ИКР в следующих ситуациях:

а) необходимо очистить установку от продуктов электролиза;

б) необходимо предотвратить коррозию металлического корпуса установки;

в) необходимо рассортировать мелкие частицы по размеру.

6. Какие элементы в следующих ТС являются искусственными, а какие природными?

а) Зондовый микроскоп с исследуемым образцом грибов;

б) твердомер с исследуемым образцом спила дерева;

в) лазерный анализатор химического состава с исследуемым образцом бактериальной целлюлозы.

ТЕМА 8. СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

Основным инструментом ТРИЗ являлся Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ).

Алгоритм решения изобретательских задач в простых случаях содержит пять основных шагов:

1. Поставить задачу.
2. Представить себе идеальный конечный результат.
3. Определить, что мешает достижению этого результата (то есть найти противоречие).
4. Определить, почему мешает (найти причину противоречия).
5. Определить, при каких условиях не мешало бы (то есть найти условия, при которых противоречие снимается).

Но иногда сформулировать (и, тем более, устранить) противоречие достаточно сложно.

Этому процессу и помогает АРИЗ.

АРИЗ – алгоритм решения изобретательских задач – это комплексная программа, основанная на законах развития технических систем и позволяющая проанализировать исходную задачу, построить ее модель, выявить противоречие, мешающее решению обычными (известными) способами, и найти наиболее эффективный прием разрешения этого противоречия. «АРИЗ – инструмент для мышления, а не вместо мышления» [12].

АРИЗ постоянно совершенствуется и уточняется. Основой совершенствования является изучение патентного фонда, исследование больших массивов патентной информации по изобретениям высших уровней. Найденные закономерности, правила, приемы включаются в АРИЗ, быстро проверяются и уточняются.

АРИЗ включает три составные части:

1. Программа последовательных операций по выявлению и устранению противоречий, основанная на объективных законах развития технических систем.

2. Психологическая программа – средства управления психологическими факторами изобретателя, которые позволяют гасить психологическую инерцию и стимулировать работу его воображения. Работа по программе придает уверенность, позволяет смелее выходить за пределы узкой специальности, ориентирует работу мысли в наиболее перспективном направлении. Сюда же включены методы развития творческого воображения.

3. Обширный, но компактный информационный фонд, который включает в себя:

- приемы устранения противоречий (40 основных приемов) и таблицы их применения;
- системы стандартов на решение изобретательских задач (76 стандартных шаблонов решений, а также типовые решения определенных классов задач);
- технологические эффекты – преобразование одних технологических воздействий в другие (физических около 5000 видов, химических, биологических, математических, в частности, наиболее разработанных из них в настоящее время – геометрических) и таблицы их использования;
- ресурсы природы и техники и способы их использования; в частности, сюда входят вещественно-полевые ресурсы и методы работы с ними (так называемый **вепольный анализ**).

Приемы решения изобретательских задач

АРИЗ в упрощенной формулировке реализуется согласно изображенной схематичной цепочке, отражающей последовательность этапов решения изобретательских задач [11]: **АП → ТП → ИКР → ФП → Р.**

То есть для их решения необходимо последовательно сформулировать:

АП – административное противоречие,

ТП – техническое противоречие,

ИКР – идеальный конечный результат,

ФП – физическое противоречие,

Р – решение.

Имеется несколько модификаций АРИЗ, созданных в разное время и различающихся количеством этапов и их содержанием:

АРИЗ-56: АП → ТП → Причины ТП → Р.

АРИЗ-59 и 61: АП → ИКР → ТП → Причины ТП → Условия разрешения ТП → Р.

АРИЗ-62: АП → ИКР → ТП → Физ./хим. причины ТП → Условия разрешения ТП → Р.

АРИЗ-63 – 71: АП → ИКР → ТП → Причины ТП → Условия разрешения ТП → Р.

АРИЗ 71Б: АП → ИКР → ТП → ФП → Р.

АРИЗ-77: АП → ТП → ИКР → ФП → Р.

АРИЗ-82: АП → ТП → ИКР → $ФП_{мак}$ → $ФП_{мик}$ → Р.

АРИЗ-82В и Г: АП → $ТП_1$ → $ТП_2$ → ТП → $ТП_у$ → ИКР → $ФП_{мак}$ → $ФП_{мик}$ → Р.

АРИЗ-85А, Б, В: АП → $ТП_1$ → $ТП_2$ → ТП → $ТП_у$ → $ИКР_1$ → $ИКР_{1у}$ → $ФП_{мак}$ → $ФП_{мик}$ → $ИКР_2$ → Р.

Здесь использовались следующие обозначения:

АП – административное противоречие,

ТП – техническое противоречие,

$ТП_у$ – усиленное техническое противоречие (предельное состояние),

ИКР – идеальный конечный результат,

$ИКР_{1у}$ – усиленная формулировка ИКР1,

ФП – физическое противоречие,

$ФП_{мак}$ – физическое противоречие на макроуровне,

$ФП_{мик}$ – физическое противоречие на микроуровне,

Р – решение.

Приведем пример разбора проблемы и формулировки противоречий по АРИЗ. Описание производственно-технологической проблемы может

быть выполнено на различных уровнях: административном, техническом, физическом [8].

Административный уровень описания проблемы.

Описывается конфликт между технической системой и надсистемой, между человеком и техникой. «Завод платит большие штрафы за загрязнение прилегающих к нему территорий. Бетонные лотки, по которым отводятся жидкие отходы, переполняются, и отходы выливаются на землю. Техническим службам завода срочно принять меры к устранению указанного недостатка и обеспечить транспортировку жидких отходов без загрязнения прилегающих территорий».

Технический уровень описания проблемы.

Описывается конфликт между двумя и более техническими системами. «Бетонные лотки для транспортировки жидких отходов забиваются осадками и переполняются. Ручная очистка трудоемка и неэффективна. Применение механических самоходных скребков связано с большими затратами материалов, электроэнергии и сложностью устройства. Необходимо разработать новый способ или устройство для эффективной очистки лотков».

Физический уровень описания проблемы.

Описывается конфликт, происходящий внутри одной технической системы, отражаются нежелательные физико-химические явления.

«В лотках во время спуска жидких отходов, имеющиеся в них твердые частицы пропитываются водой, теряют плавучесть и оседают на дно, забивая лоток. Нужно предложить способ предотвращения потери плавучести твердых отходов».

Для устранения технических противоречий применяются 40 наиболее сильных приемов, дающих эффективные решения [3].

Приведем список этих приемов (или принципов) и комментарии к ним.

1. Принцип дробления:

а) разделить объект на независимые части;

б) выполнить объект разборным;

в) увеличить степень дробления объекта.

2. Принцип вынесения:

– отделить от объекта «мешающую» часть («мешающее» свойство) или, наоборот, выделить единственно нужную часть (нужное свойство).

3. Принцип местного качества:

а) перейти от однородной структуры объекта (или внешней среды, внешнего воздействия) к неоднородной;

б) разные части объекта должны иметь (выполнять) различные функции;

в) каждая часть объекта должна находиться в условиях, наиболее благоприятных для ее работы.

4. Принцип асимметрии:

а) перейти от симметричной формы объекта к асимметричной;

б) если объект асимметричен, увеличить степень асимметрии.

5. Принцип объединения:

а) соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты;

б) объединить во времени однородные или смежные операции.

6. Принцип универсальности:

– объект выполняет несколько разных функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах.

7. Принцип «матрешки»:

а) один объект размещен внутри другого, который, в свою очередь, находится внутри третьего и т. д.;

б) один объект проходит сквозь полости в другом объекте.

8. Принцип антивеса:

а) компенсировать вес объекта соединением с другим, обладающим подъемной силой;

б) компенсировать вес объекта взаимодействием со средой (за счет аэро- и гидродинамических сил).

9. Принцип предварительного антидействия:

а) заранее придать объекту напряжения, противоположные недопустимым или нежелательным рабочим напряжениям;

б) если по условиям задачи необходимо совершить какое-то действие, надо заранее совершить антидействие.

10. Принцип предварительного исполнения:

а) заранее выполнить требуемое действие (полностью или хотя бы частично);

б) заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие без затраты времени на доставку и с наиболее удобного места.

11. Принцип «заранее подложенной подушки»:

– компенсировать относительно невысокую надежность объекта заранее подготовленными аварийными средствами.

12. Принцип эквипотенциальности:

– изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать объект.

13. Принцип «наоборот»:

а) вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие;

б) сделать движущуюся часть объекта или внешней среды неподвижной, а неподвижную – движущейся;

в) перевернуть объект «вверх ногами», вывернуть его.

14. Принцип сфероидальности:

а) перейти от прямолинейных частей к криволинейным, от плоских поверхностей к сферическим, от частей, выполненных в виде куба и параллелепипеда, к шаровым конструкциям;

б) использовать ролики, шарики, спирали;

в) перейти от прямолинейного движения к вращательному, использовать центробежную силу.

15. Принцип динамичности:

а) характеристики объекта (или внешней среды) должны меняться так, чтобы быть оптимальными на каждом этапе работы;

б) разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга;

в) если объект неподвижен, сделать его подвижным, перемещающимся.

16. Принцип частичного или избыточного действия:

– если трудно получить 100 % требуемого эффекта, надо получить «чуть меньше» или «чуть больше» – задача при этом существенно упростится.

17. Принцип перехода в другое измерение:

а) трудности, связанные с движением (или размещением) объекта по линии, устраняются, если объект приобретает возможность перемещаться в двух измерениях (т. е. на плоскости). Соответственно, задачи, связанные с движением (или размещением) объектов в одной плоскости, устраняются при переходе к пространству в трех измерениях;

б) использовать многоэтажную компоновку объектов вместо одноэтажной;

в) наклонить объект или положить его «на бок»;

г) использовать обратную сторону данной площади;

д) использовать оптические потоки, падающие на соседнюю площадь или обратную сторону имеющейся площади.

18. Принцип использования механических колебаний:

а) привести объект в колебательное движение;

б) если такое движение уже совершается, увеличить его частоту (вплоть до ультразвуковой);

в) использовать резонансную частоту;

г) применить вместо механических вибраторов пьезовибраторы;

д) использовать ультразвуковые колебания в сочетании с электромагнитными полями.

19. Принцип периодического действия:

а) перейти от непрерывного действия к периодическому (импульсному);

б) если действие уже осуществляется периодически, изменить периодичность;

в) использовать паузы между импульсами для другого действия.

20. Принцип непрерывности полезного действия:

а) вести работу непрерывно (все части объекта должны все время работать с полной нагрузкой);

б) устранить холостые и промежуточные ходы.

21. Принцип проскока:

– вести процесс или отдельные его этапы (например, вредные или опасные) на большой скорости.

22. Принцип «обратить вред в пользу»:

а) использовать вредные факторы (в частности, вредное воздействие среды) для получения положительного эффекта;

б) устранить вредный фактор за счет сложения с другими вредными факторами;

в) усилить вредный фактор до такой степени, чтобы он перестал быть вредным.

23. Принцип обратной связи:

а) ввести обратную связь;

б) если обратная связь есть, изменить ее.

24. Принцип «посредника»:

а) использовать промежуточный объект, переносящий или передающий действие;

б) на время присоединить к объекту другой (легкоудаляемый) объект.

25. Принцип самообслуживания:

а) объект должен сам себя обслуживать, выполняя вспомогательные и ремонтные операции;

б) использовать отходы (энергии, вещества).

26. Принцип копирования:

а) вместо недоступного, сложного, дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии;

б) заменить объект или систему объектов их оптическими копиями (изображениями). Использовать при этом изменение масштаба (увеличить или уменьшить копии);

в) если используются видимые оптические копии, перейти к копиям инфракрасным и ультрафиолетовым.

27. Принцип дешевой недолговечности взамен долговечности:

– заменить дорогой объект набором дешевых объектов, поступившись при этом некоторыми качествами (например, долговечностью).

28. Принцип замены механической схемы:

а) заменить механическую схему оптической, акустической или «запаховой»;

б) использовать электрические, магнитные и электромагнитные поля для взаимодействия с объектом;

в) перейти от неподвижных полей к движущимся, от фиксированных – к меняющимся во времени, от неструктурных – к имеющим определенную структуру;

г) использовать поля в сочетании с ферромагнитными частицами.

29. Принцип использования пневмо- и гидроконструкций:

– вместо твердых частей объекта использовать газообразные и жидкие: надувные и гидронаполняемые, воздушную подушку, гидростатические и гидрореактивные.

30. Принцип использования гибких оболочек и тонких пленок:

а) вместо обычных конструкций использовать гибкие оболочки и тонкие пленки;

б) изолировать объект от внешней среды с помощью гибких оболочек и тонких пленок.

31. Принцип применения пористых материалов:

а) выполнить объект пористым или использовать дополнительные пористые элементы (вставки, покрытия и т. д.);

б) если объект уже выполнен пористым, предварительно заполнить поры каким-то веществом.

32. Принцип изменения окраски:

а) изменить окраску объекта или внешней среды;

б) изменить степень прозрачности объекта или внешний среды.

33. Принцип однородности:

– объекты, взаимодействующие с данным объектом, должны быть сделаны из того же материала (или близкого ему по свойствам).

34. Принцип отброса и регенерации частей:

а) выполнившая свое назначение или ставшая ненужной часть объекта должна быть отброшена (растворена, испарена и т. д.) или видоизменена непосредственно в ходе работы;

б) расходуемые части объекта должны быть восстановлены непосредственно в ходе работы.

35. Принцип изменения физико-химических параметров объекта:

а) изменить агрегатное состояние объекта;

б) изменить концентрацию или консистенцию;

в) изменить степень гибкости;

г) изменить температуру.

36. Принцип применения фазовых переходов:

– использовать явления, возникающие при фазовых переходах, например, изменение объема, выделение или поглощение тепла и т. д.

37. Принцип применения теплового расширения:

а) использовать тепловое расширение (или сжатие) материалов;

б) использовать несколько материалов с разными коэффициентами теплового расширения.

38. Принцип применения сильных окислителей:

а) заменить обычный воздух обогащенным;

б) заменить обогащенный воздух кислородом;

в) воздействовать на воздух и кислород ионизирующим излучением;

г) использовать озонированный кислород;

д) заменить озонированный кислород (или ионизированный) озоном.

39. Принцип применения инертной среды:

а) заменить обычную среду инертной;

б) вести процесс в вакууме.

40. Принцип применения композиционных материалов:

– перейти от однородных материалов к композиционным.

Рекомендуемые принципы устранения ТП не дают ответа на конкретный вопрос, но они направлены на активизацию мышления и выход за пределы известных решений.

Приведем пример решения ***технической задачи*** методами ТРИЗа [16].

С помощью лазера нужно сформировать нанопленку на подложке испарением тугоплавкой керамики при низком давлении. Стержень из керамического материала располагается вертикально, а на его верхней части фокусируется лазерный пучок (рис. 8.1). Лазер работает в непрерывном режиме, стержень перемещается снизу вверх по мере испарения.

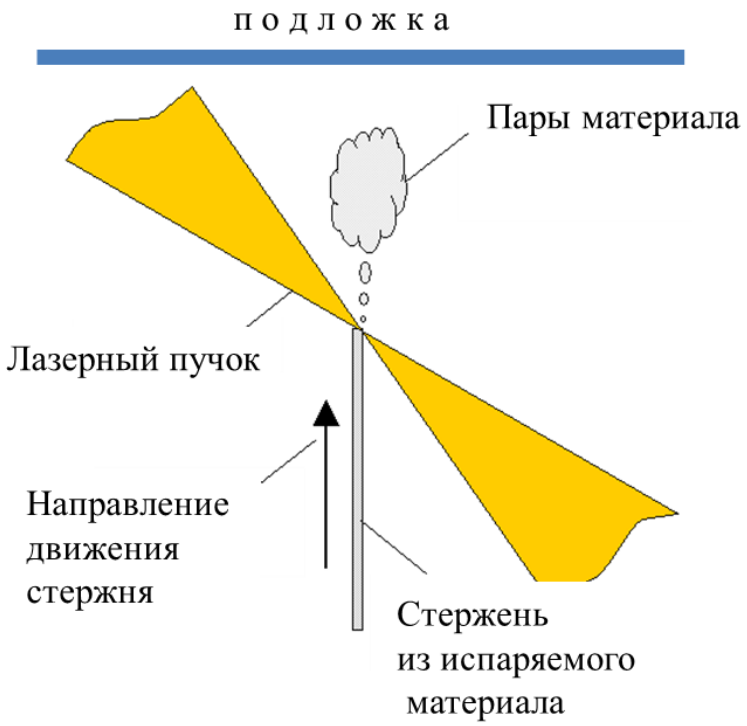

Рис. 8.1. Схема испарения керамического стержня в лазерном пучке

Проблема. Под воздействием лазерного пучка из-за низкой теплопроводности керамики стержень разрушается (растрескивается). Его приходится часто заменять, а это трудоемкий процесс, т. к. пленка формируется при пониженном давлении.

Задача. Как обеспечить работу испарителя в непрерывном режиме: избежать частой замены стержней?

Ограничения. Переместить, перефокусировать мощный пучок лазера в процессе работы испарителя нельзя из-за очень сложной его перефокусировки.

Анализ.

ТП-1: Если лазерный пучок мощный, он хорошо испаряет стержень, но может вызвать его разрушение и необходимость замены.

ТП-2: Если лазерный пучок маломощный, он не разрушает стержень, но плохо его испаряет.

Необходимо при минимальных изменениях в системе обеспечить работу испарителя в непрерывном режиме без разрушения испаряемых стержней.

В соответствии с рекомендациями АРИЗ-85-В следует «выбрать из двух схем конфликта ту, которая обеспечивает наилучшее осуществление главного производственного процесса (основной функции технологической системы, указанной в условиях задачи)» [16].

В рассматриваемом примере главным производственным процессом является испарение тугоплавкого стержня. Поэтому выбираем ТП-1: в этом случае мощный лазерный пучок хорошо испаряет стержень.

В рассматриваемой задаче нет ограничений на изменение свойств изделия, поэтому можно применить 31-й принцип.

ИКР: Частицы керамического стержня должны сами появляться в фокусе лазерного пучка, чтобы происходило испарение, и частицы должны сами исчезать чтобы не передавать температурное поле в часть стержня, находящуюся не в фокусе, и не вызывать разрушение стержня.

Часть материала стержня можно заменить пустотой. А также использовать ресурс внешней среды – гравитационное поле: испаряемую керамику можно подавать сверху вниз.

Решение. Было предложено подавать в фокус лазерного пучка керамический порошок. Размер частиц порошка – сотни микрометров. Порошковые питатели для дозирования таких порошков хорошо известны, недороги, просты в эксплуатации.

Достигнутый эффект: была обеспечена работа испарителя в непрерывном режиме, поскольку отпала необходимость менять стержни по мере их испарения. Дозагрузку питателя порошком можно осуществлять без отключения лазера и разгерметизации камеры испарителя [Фейгенсон].

Таким образом, при ускоренном развитии техники и технологии принимать решения метод проб и ошибок стало не целесообразно. Поэтому предложенная еще в 1950-е годы теория решения изобретательских задач активно развивается в XXI веке и широко применяется для принятия решения в нестандартных ситуациях.

Вепольный анализ

Еще один метод, позволяющий находить решения в сложных изобретательских задачах, – вепольный анализ, название которого произошло от слияния двух слов: «вещество» и «поле». Суть метода состоит в том, что к определенной технической ситуации применяется шаблон, описывающий взаимодействие веществ и полей, их влияние друг на друга и определенные связи между ними [10].

При этом под **веществом** здесь понимаются любые объекты независимо от степени их сложности. Вода и корабль, гвоздь и молоток, подъемный кран и груз – все это «вещества».

Под **взаимодействием** подразумевается всеобщая форма связи тел или явлений, осуществляющаяся в их взаимном изменении.

Термин «поле» в технике используется более широко, чем, например, в физике. «Поле» в физике – это форма материи, осуществляющая взаи-

модействие между частицами вещества. В технике и техническом творчестве под полем понимают пространство, каждой точке которого поставлена в соответствие некоторая векторная или скалярная величина. Подобные поля часто связаны с веществами – носителями векторных или скалярных величин. Примерами полей в технике и в ТРИЗ могут быть поле температур, поле плотностей, акустическое поле, …

Веполи изображаются графически в виде вепольной формулы (рис. 8.2),

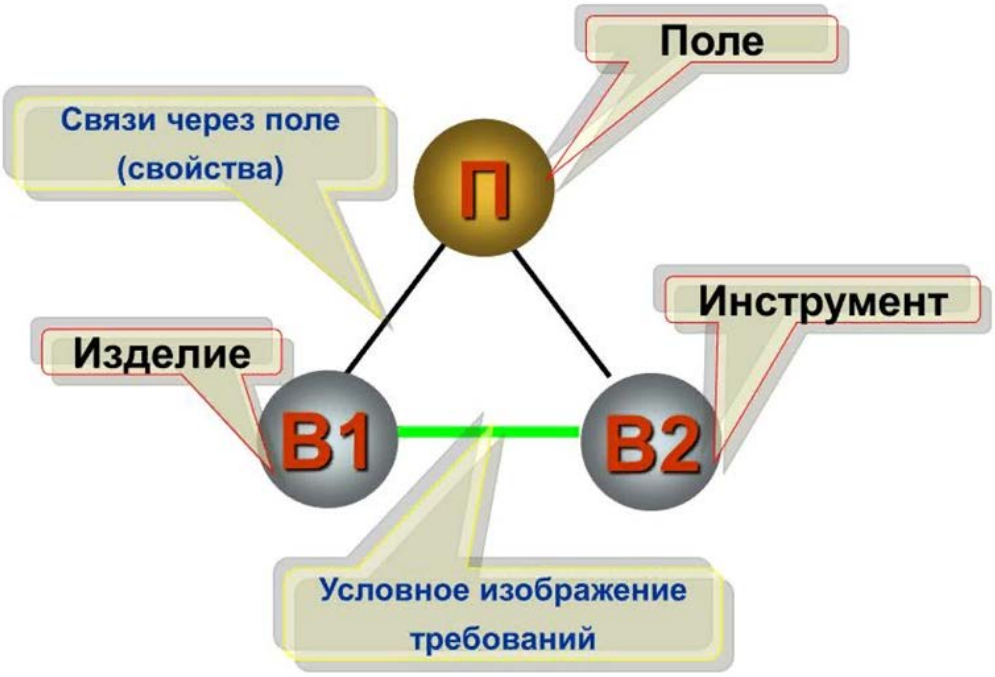

Рис. 8.2. Схема веполей

где П – поле,

В1 – первое вещество (изделие),

В2 – второе вещество – вводимое («инструмент», обрабатывающий изделие).

В вепольных формулах обычно записывают только поля на входе и на выходе, т. е. поля, которыми по условиям данной задачи можно непосредственно управлять – вводить, обнаруживать, изменять, измерять. Взаимодействие между веществами указывают без детализации вида взаимодействия (тепловое, механическое и т. д.).

Запись условия задачи в вепольной форме позволяет выделить ее суть и отбросить все несущественные детали:

- что дано (поля, вещества, действия);
- что надо изменить или ввести.

Также эта форма записи позволяет выявить причины появления задачи – «болезни» ТС, например, недостроенность веполя.

Вещества надо записывать в строчку, а поля сверху и снизу; это позволяет нагляднее отразить действие нескольких полей на одно и то же вещество. При этом используются следующие обозначения:

Необходимое взаимодействие

Недостаточное взаимодействие (либо вещество, которым сложно управлять)

Нежелательное взаимодействие (которое нужно убрать или изменить)

Направление взаимодействия

Направление преобразования веполя (от «дано» к «решению»)

Задачи вепольного анализа:

– Создание удобной символики для записи изобретательских «реакций».

– Обеспечение изобретателя инструментом для проникновения в суть задачи и отыскания эффективных путей преобразования ТС.

Упрощенная схема вепольного анализа основана на двух правилах:

– Если одно вещество вредно воздействует на другое, то между ними вводят третье вещество.

– Если поле вредно воздействует на вещество, то между ними вводят второе поле, нейтрализующее действие первого, или его вредное воздействие оттягивает третье вещество.

Также в помощь изобретателям существует специальная памятка для построения взаимодействий в веполе. Так, аббревиатура МаТХЭМ (Ма – магнитное, Т – тепловое, Х – химическое, Э – электрическое, М – механическое) представляет все основные взаимодействия. При этом соседние буквы в аббревиатуре МаТХЭМ – электрохимическое, электромагнитное и т. д. – это суммарные взаимодействия двух полей.

Большинство полей связано со «своими» веществами:

- **химическое поле** – катализаторы, ингибиторы, …;
- **электрическое поле** – заряженные частицы (электроны, протоны, ионы, …);
- **магнитное поле** – ферромагнитные, диамагнитные, парамагнитные материалы, …;
- **электромагнитное поле** – люминофоры, фотоны, …

В ТРИЗе имеется также перечень типовых веществ, используемых изобретателями с их классификацией:

1. Вещества с фазовым переходом:

– легкоиспаряемые (газотворные);

– легкорастворимые (вытравляемые);

– легкоплавящиеся;

– легкосгораемые;

– экзо- и эндотермические;

– вещества с эффектом памяти формы (металл, пластик);

– вещества с эффектом Кюри;

– вещества, увеличивающий свой объем при замерзании;

– полимеризующиеся вещества;

– легкоразрушаемые вещества.

2. Обычно дешевые вещества:

– пустота;

– пена;

– воздух, вода;

– сыпучие тела;

– отходы.

3. Прочие вещества:

– ферромагнетики (монолит, порошок, жидкость);

– капиллярно-пористые материалы;

– вязкие вещества;

– люминофоры;

– вещества с выраженным вкусом и запахом.

Приведем примеры простых веполей и веполей посложнее. Самый простой пример: вам необходимо охладить лимонад в холодильнике. Тогда лимонад будет веществом $В_1$, холодильник будет веществом $В_2$, а полем П будет тепловое поле. Составленный для такой ситуации веполь представлен на рис. 8.3.

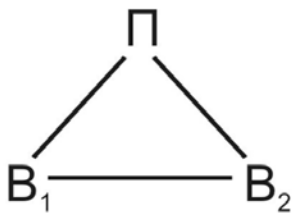

Рис 8.3. Простейший вепольный треугольник

В следующем примере на изделии необходимо получить очень тонкий и ровный слой краски без следов кисти и валика. Как этого добиться?

Логика решения в данном случае такая: если необходим минимальный режим действия, а обеспечить его в данной ситуации сложно, то нужно использовать максимальный режим, а затем убрать избыток. Обычно избыток вещества убирают полем, а избыток поля – веществом. Схема-

тичное преобразование исходного условия в данном случае представлено в виде преобразования веполя на рис. 8.4.

Рис. 8.4. Преобразование веполя

Здесь В1 – покрываемое изделие, В2 – центрифуга, П – воздействие краски. Недостаточное действие показано пунктирной стрелкой, а избыточное действие – двойной стрелкой.

На практике решение такой проблемы зарегистрировано в авторском свидетельстве № 242714: для получения требуемого покрытия на изделие наносят избыточный слой краски, окуная его в бак с краской, а затем изделие вращают в центрифуге, и центробежные силы сбрасывают избыток краски.

Иногда по условиям задачи даются два вещества, но оба они плохо взаимодействуют с полем. Веполь как бы есть (все три элемента заданы) и его как бы нет, он не «складывается». Простейшие обходные пути в этом случае состоят во введении добавок – внутренних (в одно из веществ) и наружных (на одно из веществ).

Такие веполи получили название комплексных.

Приведем пример ситуации, для решения которой требуется построение комплексного веполя. Нужен способ, позволяющий быстро и точно обнаруживать в холодильных агрегатах «неплотности», через которые просачивается жидкость (фреон, масло, …). При этом возникает техническое противоречие: «быстро» конфликтует с «точно». Эту ситуацию можно перермулировать в задачу несколькими способами. Первая формулировка: «Как визуально обнаружить маленькие капельки жидкости?»

Возможна иная постановка той же задачи: «Как обнаружить неплотности в агрегате холодильника?» Здесь веществами являются «неплотности» и протекающие сквозь них капли жидкости. Предлагается ввести дополнительное вещество – люминофор, а затем осветить зону поиска ультрафиолетовым светом. Если люминофор вводится внутрь, то в таком случае это добавка, образующая внутренний комплекс с веществом жидкости.

Представим эту задачу в виде внутреннего комплексного веполя (рис. 8.5).

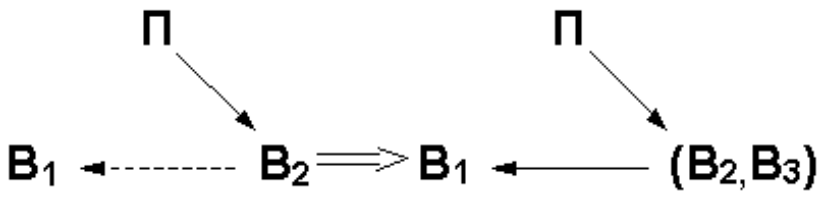

Рис. 8.5. Внутренний комплексный веполь

Здесь B_1 – изделие («неплотности»), B_2 – инструмент (жидкость), B_3 – добавка (люминофор); скобками обозначена внутренняя комплексная связь (внешняя комплексная связь обозначается без скобок).

Внутренние комплексные веполи можно строить, если условия задачи не содержат ограничений на введение добавок в имеющиеся вещества. При этом добавку можно вводить как в B_1, так и в B_2, увеличивая управляемость или придавая веполю нужные свойства.

Если дан веполь, плохо поддающийся нужным изменениям, а условия содержат ограничения на введение добавок в имеющиеся вещества B_1 или B_2, задачу решают переходом (постоянным или временным) к внешнему комплексному веполю, присоединяя к B_1 или B_2 внешнее B_3, увеличивающее управляемость или придающее веполю нужные свойства:

Допустим, в условиях задачи на обнаружение неплотностей в агрегате холодильника имеется ограничение: люминофор нельзя вводить в жид-

кость. В этом случае вещество-обнаружитель может быть расположено на наружной поверхности агрегата.

Возникает внешний комплексный веполь (рис. 8.6).

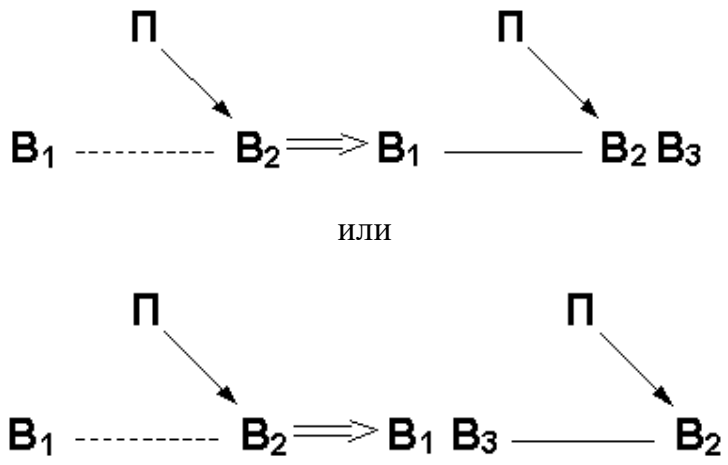

Рис. 8.6. Внешние комплексные веполи

Фактически решение задачи с «неплотностями», зарегистрированное в авторском свидетельстве № 277805, следующее: «Способ обнаружения «неплотностей» в холодильных агрегатах, заполняемых фреоном и маслом (преимущественно домашних холодильников), отличающийся там, что с целью повышения точности определения мест утечки в агрегат вместе с маслом вводят люминофор, освещают агрегат в затемненном помещении ультрафиолетовыми лучами и определяют места утечки по свечению люминофора в просачивающемся через «неплотности» масле.

Из приведенных примеров видно, что одну и ту же ситуацию – в зависимости от постановки задачи и предлагаемого решения – можно оформить в виде различных веполей.

Метод использования вещественно-полевых ресурсов

Ресурс (от фр. ressource) – источник покрытия нужд, потребностей.

Понятие «ресурс» (или «**вещественно-полевые ресурсы**») появилось в ТРИЗ в 1984 г. Здесь под «ресурсом» понимается то, что дешево и всегда

под рукой. Ресурсы могут быть не только вещественными, а пространственными, энергетическими, информационными и т. д.

Ресурсами люди пользовались задолго до появления ТРИЗ, хотя они могли называться иначе: подручный материал, подручные средства, подручные инструменты и т. п.

Под вещественно-полевыми ресурсами в ТРИЗ понимаются вещества и поля, применяемые для решения задачи. Пример классификации ресурсов приведен в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Классификационный признак	Виды ресурсов
По расположению	– Внутрисистемные, – Внешнесистемные, – Надсистемные
По виду	– Вещественные, – Энергетические, – Информационные, – Пространственные, – Временные, – Функциональные
По степени готовности к применению	– Готовые, – Производные
По степени полезности	– Полезные, – Нейтральные, – Вредные
По стоимости	– Ценные, – Копеечные, – Даровые

Оптимальные и наиболее приближенные к идеальном решения возникают если использованы вещества и поля, классифицированные как *внут-*

рисистемные, *готовые к применению*, *полезные* или *нейтральные*, а по стоимости *даровые*.

Контрольные вопросы и задания по теме 8

1. Что такое АРИЗ и из чего он состоит?

2. Что такое веполь и зачем он нужен?

3. Что понимается под ресурсом в ТРИЗ? По каким критериям можно классифицировать ресурсы? Приведите пример.

4. Как отражается знание ресурсов на принятии технического решения? Приведите пример.

5. Имеется техническая задача: в лаборатории для испытания длительного действия кислот на поверхность образцов сплавов имеется установка, которая представляет собой герметичную камеру. На дно камеры устанавливаются образцы в виде кубиков. Камеру заполняют агрессивной жидкостью и создают необходимую температуру и давление. Проблема в том, что агрессивная жидкость действует не только на образцы, но и на стенки камеры, вызывая их коррозию. Камеру приходится изготавливать из благородных металлов, что чрезвычайно дорого. Разберите проблему и сформулируйте имеющиеся в ней противоречия на административном, техническом и физическом уровнях. Предложите свои варианты решения этой задачи.

6. Приведите примеры ресурсов, используемых в следующих ситуациях:

а) вам необходимо срочно переместить тяжелый предмет;

б) вам необходимо проверить техническое состояние микротвердомера;

в) необходимо взвесить очень маленький предмет;

г) вам необходимо отфильтровать взвесь из воды.

7. Рана быстрее заживает, если не снимать повязку. А когда ее можно будет снять? Сформулируйте техническое противоречие. Какой прием можно применить, чтобы устранить это противоречие?

8. Фары автомобиля должны светить ярко и далеко, но в то же время не слепить водителей встречных машин. Устраните техническое противоречие, применив один из приемов для его устранения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принятие решения – это сложная умственная деятельность, в которой важную играют роль интеллектуальные и психологические факторы. Тем более отчетливо это прослеживается, когда идет речь о принятии трудных технических решений. Грамотное техническое решение должно быть основано на профессиональных знаниях, опыте и интуиции. Но даже при наличии этих трех компонентов решение сложных комплексных проблем и принятие решения в пользу одной из альтернатив требует знания специальных подходов, дополнительных приемов и способов принятия решений.

Одной из важнейших характеристик принятого решения является его рациональность, то есть обоснованность аналитического процесса принятия решения должна быть подтверждена комплексом специальных методов (математических, экономических, технических, психологических и других).

В данном пособии представлена лишь небольшая часть информации, способствующей принятию грамотного технического решения.

Для закрепления рассмотренных методов принятия решения в пособии после каждой темы приведены контрольные вопросы и практические задания. Для более глубокого ознакомления с интересующими вопросами приведен список рекомендуемой литературы. Надеемся, что пособие поможет вам освоить некоторые методы принятия решения и применять их в дальнейшем, например, при выполнении ВКР и в профессиональной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абовский, Н. П. Творчество: системный подход, законы развития, принятие решений / Н. П. Абовский. – 2-е изд., доп. – Москва : Синтег, 1998. – 312 с. – ISBN 5-89638-009-7.

2. Альтов, Г. Сборник задач и упражнений по методике изобретательства / Г. Альтов ; ЦК ЛКСМ Азербайджана, Азербайдж. респ. совет ВОИР. – Баку : Гянджлик, 1970. – 30 с.

3. Альтов, Г. Творчество как точная наука: теория решения изобретательских задач / Г. Альтов. – 2-е изд., доп. – Петрозаводск : Скандинавия, 2004. – 203, [2] с.

4. Аксенов, К. А. Моделирование и принятие решений в организационно-технических системах : учеб. пособие для студентов вузов : в 2 ч. / К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова, О. П. Аксенова ; Уральский федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Ин-т радиоэлектроники и информ. технологий. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2015.

Ч. 1. – 2015. – 103 с. – ISBN 978-5-7996-1321-1.

5. Большой энциклопедический политехнический словарь / гл. ред. А. Ю. Ишлинский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Большая российская энциклопедия, 1998. – 656 с. – ISBN 5-85270-264-1.

6. Быков, В. П. Системы поддержки принятия решений : моногр. / В. П. Быков, А. Н. Соловьев, Т. М. Быкова. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 132 с. – ISBN 978-5-8114-5202-6.

7. Науменко, А. П. Вероятностно-статистические методы принятия решений: теория, примеры, задачи : учеб. пособие / А. П. Науменко, И. С. Кудрявцева, А. И. Одинец ; Ом. гос. техн. ун-т. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. – 105 с. – ISBN 978-5-8149-2720-0.

8. Иванов, Г. И. Приложения 1–5 к алгоритму решения инженерных проблем (АРИП-2008) / Г. И. Иванов // Metodolog.ru. – URL: https://www.metodolog.ru/01438/01438.html (дата обращения: 21.04.2021).

9. Математическое программирование: теория и методы : учеб. пособие для студентов, обучающихся по всем инженерно-техническим направлениям подготовки и специальностям / Н. В. Гредасова, А. Н. Сесекин,

А. Ф. Шориков, М. А. Плескунов ; науч. ред. В. И. Зенков ; Уральский федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Уральский энергетический ин-т. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2020. – 198 с. – ISBN 978-5-7996-3093-5.

10. Петров, В. Алгоритм решения изобретательских задач : учеб. пособие / В. Петров. – Тель-Авив, 1999. – 256 с. – ISBN 965-7127.00-9. – URL: //https://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/ariz.pdf (дата обращения: 16.06.2021).

11. Петров, В. М. Простейшие приемы изобретательства: общие принципы получения идей: 4 способа получения новых идей / В. М. Петров. – Москва : Солон-Пресс, 2016. – 132 с. – ISBN 978-5-91359-200-2.

12. Петров, В. М. ТРИЗ. Теории решения изобретательских задач : учеб. пособие по дисциплине «Алгоритмы решения нестандартных задач» / В. М. Петров. – Москва : Солон-Пресс, 2016. – 501 с. – (Библиотека создания инноваций). – ISBN 978-5-91359-207-1.

13. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества : учеб. пособие / А. И. Половинкин. – 7-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 364 с. – ISBN 978-5-8114-4603-2.

14. Богоявленский, С. Б. Теоретические и практические аспекты принятия решений в условиях неопределенности и риска : учеб. пособие / С. Б. Богоявленский ; Санкт-Петербургский гос. эконом. ун-т. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭУ, 2014. – 118 с. – ISBN 978-5-7310-3002-1.

15. Бородачев, С. М. Теория принятия решений : учеб. пособие / С. М. Бородачев ; Уральский федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Высш. шк. экономики и менеджмента. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2014. – 124 с. – ISBN 978-5-7996-1196-5.

16. Фейгенсон, О. Н. Разбор задачи по АРИЗ-85-В. Испарение тугоплавких керамических штапиков в лазерном пучке / О. Н. Фейгенсон // Metodolog.ru. – URL: https://www.metodolog.ru/01509/01509.html (дата обращения: 06.09.2021).

17. Экономическая эффективность технических решений : учеб. пособие для студентов, обучающихся по программе бакалавриата по техни-

ческим направлениям подготовки / С. Г. Баранчикова, Т. Е. Дашкова, И. В. Ершова [и др.] ; под общей ред. И. В. Ершовой ; Уральский федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Механико-машиностроительный ин-т. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2016. – 138 с. – ISBN 978-5-7996-1835-3.

18. Иванов, Г. И. Алгоритм решения инженерных проблем – АРИП 2009 / Г. И. Иванов // Trizland.ru. – URL: https://www.trizland.ru/trizba/articles/1886/ (дата обращения: 21.04.2021).