

# Тема №1 ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ (≈ 6 часов)

## 1. Сущность и особенности научного исследования

Всякое научное исследование — от творческого замысла до окончательного оформления научного труда осуществляется весьма индивидуально. Но все же можно определить общие методологические подходы к его проведению.

Современное научно-теоретическое мышление стремится проникнуть в сущность изучаемых явлений и процессов. Это возможно при условии целостного подхода к объекту изучения, рассмотрения этого объекта в возникновении и развитии, т. е. применения исторического подхода.

Изучать в научном смысле — это значит вести поисковые исследования, как бы заглядывая в будущее. Воображение, фантазия, мечта, опирающиеся на реальные достижения науки и техники, — вот важнейшие факторы научного исследования.

Изучать в научном смысле — это значит быть научно объективным. Нельзя отбрасывать факты в сторону только потому, что их трудно объяснить или найти им практическое применение. Дело в том, что сущность нового в науке не всегда видна самому исследователю. Новые научные факты и даже открытия из-за того, что их значение плохо раскрыто, могут долгое время оставаться в резерве науки и не использоваться на практике.

Развитие идеи до стадии решения задачи обычно совершается как плановый процесс научного исследования. Науке известны и случайные открытия, но только плановое, хорошо оснащенное современными средствами научное исследование надежно позволяет вскрыть и глубоко познать объективные закономерности в природе. В дальнейшем процесс целевой и общеидейной обработки первоначального замысла продолжается, вносятся уточнения, изменения, дополнения, развивается намеченная схема исследования.

Научное исследование — это целенаправленное познание, результаты

которого выступают в виде системы понятий, законов и теорий.

Характеризуя научное исследование, обычно указывают на следующие его отличительные признаки:

- ◆ это обязательно целенаправленный процесс, достижение осознанно поставленной цели, четко сформулированных задач;

- ◆ это процесс, направленный на поиск нового, на творчество, на открытие неизвестного, на выдвижение оригинальных идей, на новое освещение рассматриваемых вопросов;

- ◆ оно характеризуется систематичностью, т.е. упорядочивание, приведение в систему как сам процесс исследования так и его результаты;

- ◆ ему присуща строгая доказательность, последовательное обоснование сделанных обобщений и выводов.

Объектом научно-теоретического исследования выступает не просто отдельное явление, конкретная ситуация, а целый класс сходных явлений и ситуаций, их совокупность.

Цель, непосредственные задачи научно-теоретического исследования состоят в том, чтобы найти общее у ряда единичных явлений, вскрыть законы, по которым возникают, функционируют, развиваются такого рода явления, т. е. проникнуть в их глубинную сущность.

Основные средства научно-теоретического исследования:

- ◆ совокупность научных методов, всесторонне обоснованных и сведенных в единую систему;

- ◆ совокупность понятий, строго определенных терминов, связанных между собою и образующих характерный язык науки.

Результаты научных исследований воплощаются в научных трудах (статьях, монографиях, учебниках, диссертациях и т. д.) и лишь затем, после их всесторонней оценки используются в практике, учитываются в процессе практического познания и в сжатом, обобщенном виде включаются в руководящие документы.

## 2. Уровни научного исследования

Опираясь на систему методологических принципов, исследователь определяет:

- ◆ объект и предмет исследования;
- ◆ последовательность их решения;
- ◆ применяемые методы.

Можно условно выделить два характерных уровня научного исследования:

- а) эмпирический;
- б) теоретический.

*Эмпирический уровень* связан с получением и первичной обработкой исходного фактического материала. Обычно разделяют: факты действительности и научные факты.

*Факты действительности* — это события, явления, которые происходили или происходят на самом деле, это различные стороны, свойства, отношения изучаемых объектов.

*Научные факты* — это отраженные сознанием факты действительности, причем обязательно проверенные, осмысленные и зафиксированные в языке науки в виде эмпирических суждений.

Эмпирический уровень состоит из 2-х стадий работы:

◆ первая стадия — это процесс отыскивания, получения фактов, ибо очевидно, что для осмысливания, анализа фактов их необходимо, прежде всего, иметь;

◆ вторая стадия эмпирического исследования включает в себя первичную обработку и оценку фактов в их взаимосвязи, т. е. включает в себя:

◆ осмысление и строгое описание добытых фактов в терминах научного языка;

◆ классификация фактов по различным основаниям и выявление основных зависимостей между ними.

В ходе этого этапа исследователь осуществляет:

а) критическую оценку и проверку каждого факта, очищая его от случайных и несущественных примесей;

б) описание каждого факта в определенных терминах той науки, в рамках которой ведется исследование;

в) отбор из всех фактов типичных, наиболее повторяющихся и выражающих основные тенденции развития;

г) классификацию фактов по видам изучаемых явлений, по их существенности, приводит их в систему;

д) вскрывает наиболее очевидные связи между отобранными фактами, т. е. на эмпирическом уровне исследует закономерности, которые характеризуют изучаемые явления.

Теоретический уровень исследования связан с глубоким анализом фактов, с проникновением в сущность исследуемых явлений, с познанием и формулированием в качественной и количественной форме законов, т. е. с объяснением явлений.

Далее на этом этапе осуществляется прогнозирование возможных событий или изменений в изучаемых явлениях, вырабатываются принципы действия, рекомендаций о практическом воздействии на эти явления.

Изучать — значит:

а) не просто добросовестно изображать или просто описывать, но и узнавать отношение изучаемого к тому, что известно;

б) измерять все, что подлежит измерению;

в) определять место изучаемого в системе известного, пользуясь как качественными, так и количественными сведениями;

г) находить закон;

д) составлять гипотезы о причинной связи между изучаемыми явлениями;

е) проверять гипотезы опытом;

ж) составлять теорию изучаемого.

Связующим звеном между эмпирическим и теоретическим этапом является

постановка проблемы.

Это значит:

- ◆ определить известное и неизвестное; факты, объясненные и требующие объяснения; факты, соответствующие теории и противоречащие ей;
- ◆ сформулировать вопрос, выражающий основной смысл проблемы, обосновать его правильность и важность для науки;
- ◆ наметить конкретные задачи, последовательность их решения и применяемые при этом методы.

Главная задача исследователя — выявить причины явлений, законы, ими управляющие. Поэтому и основной разновидностью гипотезы является предположение о причине, об условиях, о законе возникновения, существования, развития изучаемых явлений.

Доказательство — следующая необходимая стадия и форма, в которой существует и развивается далее научное знание.

Доказательство осуществляется, прежде всего практическим путем, но в данном случае речь идет о логическом, теоретическом доказательстве, суть которого состоит в подтверждении или опровержении выдвигаемых положений теоретическими аргументами.

Итак, научное исследование в каждом цикле совершает движение от эмпирии к теории и от теории к проверяющей ее практике.

### **3. Основные этапы научного исследования**

Замысел исследования — это основная идея, которая связывает воедино все структурные элементы методики, определяет порядок проведения, исследования, его этапы.

В замысле исследования выстраиваются в логический порядок:

- ◆ цель, задачи, гипотеза исследования;
- ◆ критерии, показатели развития конкретного явления соотносятся с конкретными методами исследования;

♦ определяется последовательность применения этих методов, порядок управления ходом эксперимента, порядок регистрации, накопления и обобщения экспериментального материала.

Замысел исследования определяет и его этапы. Обычно исследование состоит из трех основных этапов.

Первый этап включает в себя:

- ♦ выбор проблемы и темы;
- ♦ определение объекта и предмета, целей и задач;
- ♦ разработку гипотезы исследования.

Второй этап работы содержит:

- ♦ выбор методов и разработку методики исследования;
- ♦ проверку гипотезы;
- ♦ непосредственно исследование;
- ♦ формулирование предварительных выводов, их апробирование и уточнение;
- ♦ обоснование заключительных выводов и практических рекомендаций.

Третий этап (заключительный) строится на основе внедрения полученных результатов в практику. Работа литературно оформляется.

Логика каждого исследования специфична. Исследователь исходит из характера проблемы, целей и задач работы, конкретного материала, которым он располагает, уровня оснащенности исследования и своих возможностей. Чем характерен каждый этап работы?

Первый этап состоит из выбора области сферы исследования, причем выбор обусловлен как объективными факторами (актуальностью, новизной, перспективностью и т. д.), так и субъективными — опытом исследователя, его научным и профессиональным интересом, способностями, складом ума и т. д.

Научное исследование никогда не начинается на пустом месте. Прикладным исследованиям обычно предшествуют поисковые исследования, выводы которых подтверждают актуальность и перспективность работы. Поисковые исследования вытекают из практики.

Основанием для постановки вопроса исследования является в первую очередь его актуальность, которая определяется потребностью народного хозяйства и общества. Следовательно, при возникновении проблемы ее необходимо решать.

Под актуальностью проблемы следует понимать не только потребность сегодняшнего дня, но и задачи на перспективу. Для того чтобы дать стране больше материальных ценностей в будущем, наука должна уже сегодня создать необходимые предпосылки в виде теорий, опробованных гипотез, новых процессов, более эффективных машин, новых приборов, методов и навыков управления. И что не менее важно, наука должна создать базу для дальнейшего развития, опережая внедрение ее результатов в народное хозяйство, т.е. иметь задел.

Актуальность выражает необходимое условие исследования операции, но она недостаточна для его проведения. Требуется еще обосновать возможность выполнения работы при заданном уровне знаний. Необходимо, наконец, обосновать его полезность по какому-то критерию. Другими словами, для того, чтобы начать исследование, надо ответить на следующие вопросы:

1. Необходимо ли решать данную проблему?
2. Можно ли ее решить?
3. Оправдано ли экономически ее решение?

Проблема исследования принимается как категория, означающая нечто неизвестное в науке, что предстоит открыть, доказать.

Тема — в ней отражается проблема в ее характерных чертах. Удачная, точная в смысловом отношении формулировка темы уточняет проблему, очерчивает рамки исследования, конкретизирует основной замысел, создавая тем самым предпосылки успеха работы в целом.

Объект — эта та совокупность связей и отношений, свойств, которая существует объективно в теории и практике и служит источником необходимой для исследователя информации.

Предмет исследования более конкретен и включает только те связи и

отношения, которые подлежат непосредственному изучению в данной работе, устанавливают границы научного поиска; в каждом объекте можно выделить несколько предметов исследования.

Из предмета исследования вытекают его цель и задачи.

Цель формулируется кратко и предельно точно, в смысловом отношении выражая то основное, что намеревается сделать исследователь. Она конкретизируется и развивается в задачах исследования.

Первая задача, как правило, связана с выявлением, уточнением, углублением, методологическим обоснованием сущности, природы, структуры изучаемого объекта.

Вторая — с анализом реального состояния предмета исследования, динамики, внутренних противоречий развития.

Третья — со способностями преобразования, моделирования, опытно-экспериментальной проверки.

Четвертая — с выявлением путей и средств повышения эффективности совершенствования исследуемого явления, процесса, т. е. с практическими аспектами работы, с проблемой управления исследуемым объектом.

#### **4. Цели научного исследования**

По целевому назначению исследования могут быть объединены в два больших четко разделенных класса: прикладные и поисковые.

Исследования с близкой целью можно отнести к классу прикладных. Они проводятся для получения непосредственных внедряемых в промышленность результатов. Некоторые исследователи увлекаются этими исследованиями, так как они часто дают немедленный экономический эффект.

Поисковые исследования преследуют более далекую цель. Они необходимы для нахождения новых процессов, для разработки новых теорий, гипотез, открывающих путь для прикладных исследований.

При наличии предварительной информации о работе системы имеются два

типа подходов исследования, между которыми находится большинство научных исследований.

К первому типу относятся исследования систем, работа которых достаточно хорошо известна. В этом случае имеется теория, удовлетворительно описывающая работу системы, разработана математическая модель, известны аналогичные исследования. Это, например, расчет интенсивности, плотности и скорости транспортного потока и т.п. Планирование эксперимента в этом случае обычно преследует цель получения значений коэффициентов теоретически выведенных уравнений, описывающих движение транспортных потоков.

Ко второму типу относят исследования систем, о работе которых мало или ничего не известно. В первые годы развития кибернетики метод исследования таких систем получил условное название метода "черного ящика" [8].

Система, о работе которой ничего не известно, рассматривается как закрытый ящик. Исследователь не строит информационную модель процесса, протекающего внутри "ящика", и, тем более, он не строит математическую модель. "Ящик" исследуется путем наблюдения за его функционированием или путем систематических воздействий на "входах", отмечая соответствующую реакцию на "выходах". Полученное таким образом эмпирическое описание работы "ящика" обычно оформляется в виде статистической зависимости  $y=f(x)$ , многочленом первого или второго порядка, т.е. так называемой регрессионной зависимостью. Такая статистическая зависимость является лишь первым шагом в процессе изучения объекта.

Рассмотрим характерные процессы или явления происходящие в объектах исследования.

1. Процессы или явления, о которых имеется достаточная информация, где известны основные действующие силы, начальные и граничные условия. Это в основном детерминированные процессы, при исследовании которых можно применять гипотетико-дедуктивный метод (Сущность гипотетико-дедуктивного метода заключается в создании системы дедуктивно связанных между собой гипотез, из которых в конечном счете выводятся утверждения об эмпирических

фактах.). Например, изучение динамики обгона автомобилей и других маневров.

2. Процессы или явления, для которых имеется достаточная информация о характере сил, граничных условиях, но сложность протекания таких процессов не позволяет получить дедуктивным путем эффективных математических моделей (дедукция это переход в процессе познания от общего к единичному [выведение единичного из общего]). Основным методом изучения в этом случае является экспериментальное исследование и физическое моделирование для выявления результирующих действующих сил, построения критериев, а также роли граничных условий.

3. Процессы или явления, определяемые многочисленными факторами, и вероятностные процессы. Основная задача исследования в этом случае состоит в определении опытным путем статистических характеристик и их зависимости от некоторых факторов. (Это, например, теория массового обслуживания).

4. Процессы или явления, происходящие в сложных системах, поведение которых определяется в большей мере их структурой. Основной метод исследования состоит в построении и изучении математических моделей. Чаще всего встречаются процессы смешанного типа. И почти все, в более или менее явном виде, сопровождаются задачами экстремального характера. Это эффективность по какому-то критерию перевозочного процесса.

## **5. Формулирование и анализ проблемы**

Проблема (гр. *problema* — задача) — это совокупность сложных теоретических и практических задач, потребность, в решении которой назрела в обществе. Из социально-психологических позиций проблема — это отображение противоречия между общественной потребностью в знании и известных способах ее получения, противоречия между знанием и незнанием. Проблема возникает тогда, когда человеческая практика встречает затруднения или даже наталкивается на «невозможность» в достижении цели. Проблема может быть глобальной, национальной, регионального, отраслевой, межотраслевой, что зависит от масштаба возникающих задач. Так, например, проблема охраны

природы есть глобальной, так как ее решение направлено на удовлетворение общечеловеческих потребностей.

Кроме этого, различают проблемы общие и специфические. К общим проблемам относятся общенаучные, общенародные и т.п. Специфические проблемы характерны для определенных производств определенной промышленности.

Составной проблемы есть **тема** научного исследования. В результате исследований по теме получают ответы на определенный круг научных вопросов, которые охватывают часть проблемы. Обобщение результатов ответов из комплекса тем может дать решения научной проблемы.

Выбор проблемы, темы научного исследования и постановка научных задач есть результатом изучения состояния производственных вопросов, общественных потребностей и способов их удовлетворения, а также состояния исследования определенного направления на данном отрезке времени.

В научном исследовании возникновение противоречия между общественной потребностью и известными способами ее удовлетворения равнозначно формулированию проблемы. Поэтому исходным моментом научного исследования есть изучения общественных потребностей и условий их удовлетворения.

**Потребность** — это выражение объективной необходимости для человека, технической или социальной системы обеспечить свое нормальное существование и развитие. Под **нормальным** существованием понимают прохождение всех процессов в системе с наиболее возможной согласованностью, надежностью, экономичностью и эффективностью. **Нормальное существование** — это лучшее и наиболее адекватное из реально возможных состояний, которые более всего отвечают определенным условиям и задачам функционирования системы. В сущности говоря, нормальное существование адекватно понятию функционального оптимума системы. Поэтому оптимальный режим функционирования системы и есть нормальным.

Существование потребности вызванное отклонением состояния системы от

оптимального. Поэтому для количественной характеристики потребности можно пользоваться формулой:

$$П=X- X_n, \quad (2.1)$$

где  $П$  — количественная характеристика потребности;  
 $X, X_n$  — количественные характеристики фактического и нормального состояния системы.

Изменение условий и задач функционирования приводит к изменению количественной характеристики нормального состояния системы, то есть к изменению величины  $X_n$ . Поэтому норма состояния — это не точка на шкале состояний, а некоторый диапазон, зона изменения состояния, в пределах которой сохраняется оптимальное в данных конкретных условиях функционирования системы. В зоне нормы существенные характеристики системы могут варьировать и приобретать разные оптимальные значения соответственно влиянию факторов внешней и внутренней среды.

Диапазон нормы имеет верхнюю и нижнюю границы, выход за которые ведет к потере адаптационных способностей системы. Границы нормы генетически детерминированы.

Таким образом, величина потребности зависит как от изменения фактического состояния системы, так и от изменения его нормы.

Наличие верхней и нижней границ диапазона нормы определяет верхний и нижний уровни потребностей. Относительно общественных потребностей верхний уровень характеризует потенциальные возможности потребителей и не ограниченные достигнутым ныне уровнем производства.

За нижний уровень потребностей принимают минимум средств существования, которое обеспечивает жизнедеятельность потребителей в определенных исторических условиях.

В научных исследованиях стараются обнаружить оба уровня потребности. Существуют два подхода к определению и прогнозированию потребностей — нормативный и статистический.

**Нормативный подход** предполагает установления потребностей на основе

планов развития производства и экономики, в общем. Для качественного и количественного анализа потребностей используют изучение обращения потребителей на основе моделей спроса и потребление.

Практика **статистического подхода** к исследованию потребностей базируется на двух методах — активном и пассивном.

Наиболее пассивный из всех мыслимых подходов можно назвать методом «бездеятельности» или «сидя, сложив руки». Этим методом часто пользуются организации и ученые с исключительными привилегиями. Они охлаждаются и выжидают, пока потребность в чем-то не станет совсем бесспорной. Для организаций и ученых, что ощущают сильную конкуренцию, такой подход неприемлемый.

К пассивному относятся такие методы: использование собственного жизненного опыта и самонаблюдение. Для выяснения желаний потребителя соответственно этим методам довольно просто спросить самого себя или своего ближайшего соседа чего вы хотите.

Этот подход соединен с очевидным риском через хорошо известные ошибки маленьких выборок.

Активный метод содержит методики исследования статистики рынка и индивидуальной выборочной статистики.

Первая методика базируется на изучении временных рядов о купле и продаже, цены, дохода, экономические барометры деловой конъюнктуры и т.п. Вторая методика базируется на изучении данных о семейных бюджетах, индивидуальных опросах для выявления преимуществ, позиций и обращений, фиксации обращения контрольной группы потребителей, результатов моделирования с помощью ЭВМ.

Методика исследования статистики рынка состоит из семи основных шагов:

1. Изложить основные факты о минувших тенденциях и оценках.
2. Определить причины изменений в минувших тенденциях спроса.
3. Определить причины расхождений между бывшими оценками и фактическим текущим спросом.

4. Определить факторы, от которых может зависеть будущий спрос.
5. Сделать оценки будущего спроса.
6. Проверить прочность текущих оценок и причины расхождений.
7. По необходимости пересматривать оценки.

Во время выполнения этих шагов особое внимание надо обратить на пункт 3.

Методика изучения рыночной статистики содержит рыночное испытание (эксперимент) с реальными потребителями. Рыночные испытания разрешают получить точные данные о реакциях потребителя на модель определенного продукта, способного удовлетворять потребности.

Исследования индивидуальной статистики базируется на выборочном обследовании рынка. Главным орудием этой операции есть анкета или опросный лист, которые тщательно готовятся экспертами с участием психологов.

В последнее время в исследовании индивидуальной статистики распространяется методика исследования мотивов, которая базируется на тщательно выборе результатов собеседования с потребителями.

Установления потребности ведет к формулированию технической проблемы. Это формулирование может содержать описание совокупности фактически необходимых и достаточных условий для выполнения того, что нужно с точки зрения процесса удовлетворения потребности. Указанное описание может содержать формулирование несоответствия между имеющимся и необходимым знаниями о способах удовлетворения потребности.

Несмотря на способ описания, необходимо проводить контроль правильности формулирования проблемы на основе такого комплекса вопросов:

1. Какая информация содержится в описании?
2. В какой мере информация о проблеме уменьшает ненадежность дальнейших исследований?
3. Нет ли в описании противоречивых сведений?
4. Какие элементы описания необходимые и достаточные для принципа полноты охвата?
5. Дает ли информация, которая содержится в описании, возможность

сформулировать тему и задачу исследования?

6. Выявлены ли недостатки в описании проблемы, и, если такие недостатки существуют - или сформулированы вопросы, на которые нужно получить ответ к намеченному сроку или прогнозируемым условиям?

Процесс формулирования проблемы завершается разработкой ее структуры, то есть выделением тем, подтем и задач. Композиция этих компонентов составляет дерево проблемы.

Формулирование задач может содержать описание условий, из которых следует выходить при попытке их решения, а также требований, которые определяют то, к чему нужно стремиться или чего достичь. **Условия** задачи могут определяться в трех видах: исходных, привлеченных и тех, что отыскивают.

**Исходные** условия дают в первоначальном словесном формулировании задачи. Эти условия часто называют исходными данными или просто данными задачи.

Когда исходных данных недостаточно, тогда сам человек, который решает задачу, включает в формулирование новые данные, которые он считает нужно использовать, и потому эти данные получили название «**привлеченных**». Если для решения задачи какие-то данные приходится добывать в предыдущих поисковых исследованиях, тогда их называют теми, что **отыскивают**. К данным, что отыскивают, относятся и результаты решения задач.

**Требования** — это цель, к которой нужно стремиться вследствие решения задачи. Определения видов требований аналогично определению условий задачи. Условия и требования находятся в противоречии.

Формулирование задачи — это продукт определенного анализа, который лежит в основе проблемы. В тех случаях, когда этот анализ сведен к минимуму, в словесном формулировании задачи определяют не выделенные или слабо выделенные те ее исходные данные, которые являются особенно существенными относительно требований задачи.

## **6. Выбор стратегии и тактики поиска решения проблемных задач**

Внимательное наблюдение за окружающей природой может предоставить неоценимую помощь во время решения поставленной задачи. Например, авиаинженеру Г.М. Балыкову наблюдения за взлетом из воды утки подсказали решение проблемы взлета гидроплана. Оказалось, что при взлете утка использует «четыре крыла». Два из них создают подъемную силу, необходимую для взлета, а два других, опираясь на воздух, — тягу. Следует срезать перепонки на лапках и утка не сможет взлететь.

Много открытий и изобретений в науке и технике подсказанные природой. Поэтому надо учиться у природы, наблюдая за разными явлениями в светлые решения поставленной задачи. Например, если поставленная задача разработки метода выбора оптимальной трассы дороги, тогда наблюдения за наблюдением животных может предоставить существенную помощь в решении этой задачи. Наблюдения за поведением ишаков, которые в условиях бездорожья безошибочно избирают кратчайший путь между двумя точками, которые имеет наиболее минимальные. Из всех возможных вариантов спусков и подъемов, позволило А.Г. Батраковой разработать метод трассирования автомобильных дорог, который обеспечивает минимальные затраты энергии автомобильного транспорта. Поэтому заимствование у природы принципов действия, поведения и т.п. и использования их в техническом творчестве — одно из возможных направлений решения проблемной задачи.

Не менее важным во время отыскивания способов решения задачи являются знакомство с разными процессами — химическими, физическими, биологическими, электрическими, а также посещение выставок, технических музеев и т.п.. Анализ способов решения аналогичных проблем в прошлом может натолкнуть исследователя по мнению способ решения поставленной задачи. Возражения возражений, использование ранее отброшенных или неиспользованных принципов — второй путь решения проблемы.

Неисчерпывающим источником идей есть фантастическая литература.

Чтения фантастической литературы и даже сказок часто наталкивает опыт на идею.

Знаменитейший капитан Немо Жюль Верна использовал натриевые батареи для освещения подводной лодки «Наутилус». Ныне в лабораториях США созданные источники тока, которые вырабатывают электроэнергию на основе взаимодействия чистого натрия с дистиллированной водой. Предполагают, что натриевый реактор станет опасным соперником свинцовых батарей.

В практике решения творческих задач может быть применены принцип дикого эксперимента, то есть случайного поиска. Случай дал возможность создать много технологий, машин, механизмов. Так, Ричардсон перекинул перекись водорода на гусиное перо и, таким образом случайно изобрел способ обесцвечивания волоса. Французский физик Антуан Бекерель случайно открыл радиоактивность после того, как нашел засвеченную фотопластинку, которая находилась в одной кассете с урановой солью.

В одной химической лаборатории в 1838 г. второпях уронили на горячую печь каучук и серу. Каучук, соединившись с серой, стал необычно эластичным. Таким образом, была изобретенная резина. В 1973 г. во время установки динамомашин электромонтер перепутал руководства, и машина заработала как двигатель.

В практике использования метода случайного поиска важнейшим элементом есть определения в случайности необходимости. Важно увидеть в случайном решении то, что отыскиваешь. Следует постоянно держать в уме предмет своего исследования и «терпеливо ждать, пока первый проблеск постепенно и мало-помалу не превратится в четкий и яркий свет» — говорил Исаак Ньютон. Достаточно хотя бы немного ослабить внимание к исследуемым фактам и можно пройти мимо решения задачи, которое отыскивают.

Модификацией случайного поиска в технических исследованиях есть метод проб и ошибок. Применение методов сводится к перебору и сравнению между собою по определенным показателям возможных вариантов решения проблемной задачи. Но оба метода крайне неэффективны, поскольку требуют огромного

количества времени и энергии. В результате можно ничего не достичь, если не поможет счастливая случайность.

Наблюдения и случайный поиск должны сопровождаться записыванием его результатов. Во-первых, записывания развивает способность замечать в обычном то, что может быть использовано в техническом творчестве. Во-вторых, рассматривая запись, исследователь перебирает разные варианты решений, ускоряет созревание замысла.

Записывать увиденное и подмеченное желательно сокращенно, но обязательно в определенном порядке. Для этого в карманной записной книжке выделяют 15-20 разделов. Книжка всегда должна быть под рукой. Записывать следует сразу, только что подмеченное что-то новое, независимо от того, належит или не належит это к разрабатываемой теме.

Осложнения инженерных задач обусловило возникновения специальных исследовательских приемов и умственных приемов, применения которых разрешает ограничить поиск решения проблемной задачи. Случайный поиск становится направленным, осуществляется переход от лотереи к зондированию определенных направлений, областей знания.

Выбор направления исследования предполагает приведения в порядок целей, формирования основной стратегии поиска.

Термин «стратегия поиска» применяется здесь в значении определенной последовательности действий с целью решения поставленной проблемной задачи. Поиск проходит во времени, его характерной особенностью есть распределение на отдельные последовательные операции. Руководствуясь целью, определяют ближайший отрезок пути, решают, что надо сделать на этом отрезке. Ответ на вопрос, что надо сделать, служит основой понятия «задача». После его проведения выполняют оценку результатов. Если оценка отрицательная, то решение задачи повторяют. Если же оценка положительная, тогда решают следующую задачу, которая приближает исследователя к конечной цели. Составление программы исследовательской деятельности оберегает ученого от забегания слишком далеко вперед, накопления великого множества операций,

которые в свете итоговой оценки полезности принятых решений могут оказаться ошибочными. В программе действий ученого закладывается главная стратегия научного поиска которая может быть сформулирована в виде правил:

- 1) решать, что делать в первую очередь;
- 2) сделать то, что намечено в первую очередь;
- 3) оценить результат сделанного;
- 4) решить, что нужно сделать во-вторую очередь;
- 5) сделать то, что намечено во-вторую очередь;
- 6) оценить результат сделанного.

Стратегия поиска может быть жестко принятая с самого начала до конца исследования, или может изменяться в зависимости от результатов выполнения предыдущих действий.

Согласно Дж.К. Джонсу стратегии поиска классифицируют по двум признакам: степенью заданности и схемой поиска. Заранее заданные или готовые, стратегии жестко фиксируются подобно программам ЭВМ. Заданная стратегия обычно состоит из цепочки последовательных действий, в котором каждое действие зависит от результата предыдущей, но не зависит от результатов следующих действий (линейная стратегия) (рис. 2.1, а). Если после получения результатов на одном из этапов исследования приходится возвращаться до одного из предыдущих этапов, тогда такую стратегию называют циклической (рис. 2.1, б).

Когда действия исследователя не зависят одна от одной, может иметь место разветвленная стратегия (рис. 2.2, а). Если из самого начала определяют лишь первое действие, а выбор следующей зависит от результатов предыдущей, тогда такую стратегию называют адаптивной (рис. 2.2, б).

Вариантом стратегии адаптивного поиска есть стратегия увеличений. Поиск методом увеличений предусматривает последовательное изменение одной переменной на каждом шаге поиска (рис. 2.3).

Иногда используют стратегию случайного поиска. В соответствии с этой стратегией при выборе каждого этапа сознательно не учитывают результаты

других этапов, что прибавляет поиску предельно непредубежденный характер (рис. 2.4).

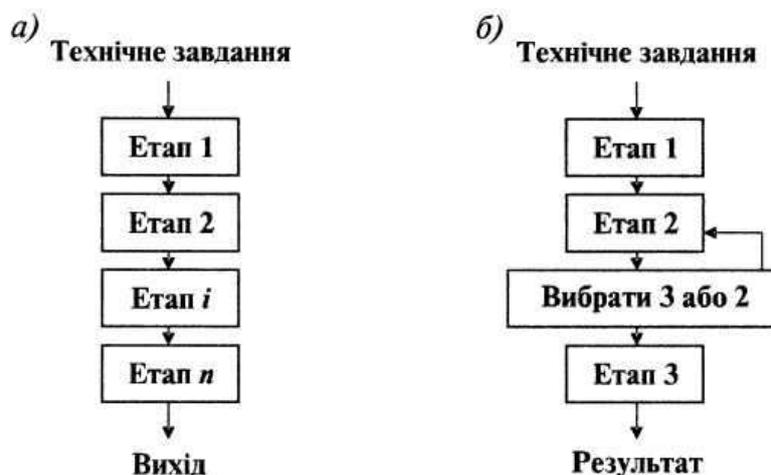


Рис. 2.1. Стратегии, построенные по линейному принципу:

а) линейная стратегия; б) циклическая стратегия

Выбор стратегии поиска осуществляют на основе внешних критериев и промежуточных результатов. Стратегия сохраняется до тех пор, пока она остается перспективной по внешним критериям. Обычно поиск начинают с начально принятой стратегией.

Действуя по этой стратегии записывают мысли, которые спонтанно приходят исследователю. Записанную мысль тщательно анализируют и лишь потом восстанавливают поиск по принятой стратегии. Когда накапливается достаточное количество результатов, проверяют направления, которыми идут плановая стратегия и спонтанные мысли. Если эти два направления противоречат друг другу, тогда осуществляют оценку перспективности принятой стратегии по

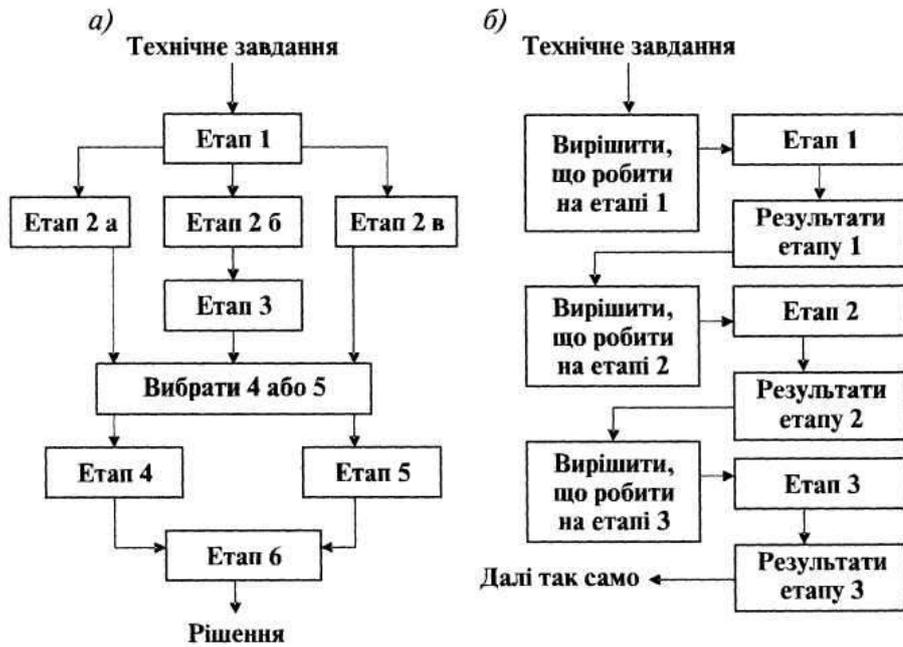


Рис. 2.2. Стратегії з неоднозначною послідовністю дій:

а) розветвлена стратегія; б) адаптивна стратегія



Рис. 2.3. Стратегія збільшення

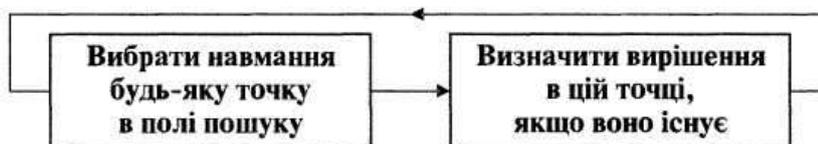


Рис. 2.4. Стратегія випадкового пошуку

внешним критериям и решают вопрос, игнорировать спонтанные мысли или перейти к новой стратегии. Проверку согласованности спонтанных мыслей и принятой стратегии осуществляют до тех пор, пока не будет найдена стратегия, которая рождает спонтанные мысли и, которые ее укрепляют.

К жестко фиксированным стратегиям относятся: упорядоченный поиск, стоимостной анализ, кумулятивная стратегия Пейджа и др.

Упорядоченный поиск содержит такую последовательность действий:

- обнаружить компоненты задачи;
- обнаружить зависимости между переменными;
- прогнозировать вероятные значения факторов окружающей среды;
- обнаружить ограничение или граничные условия, то есть предельные значения всех переменных;
- присвоить числовые значения каждому из факторов решения и вычислить значение зависимых переменных;
- выбрать такие факторы решения, по которым достигается наибольшая сумма числовых значений для всех целей с учетом их веса.

Стратегия стоимостного анализа содержит такие этапы:

- установить стандарты технических характеристик разрабатываемой системы или метода;
- составить подробную калькуляцию себестоимости всех затрат;
- осуществить поиск более дешевых альтернатив;
- отобрать более дешевые альтернативы;
- оформить избранную альтернативу решения.

Кумулятивная стратегия Пейджа состоит из этапов:

- определить все цели, которые обеспечат удовлетворение потребностей всех, кого затронут результаты исследования;
- определить факторы, которые могут воспрепятствовать достижению хотя бы одной из существующих целей;
- установить критерии, которые разрешают однозначно судить о

приемлемости решений;

- разработать методики оценок по каждому из критериев;
- собрать большое множество альтернативных решений и подготовить модели для экстремальных решений; провести испытания моделей;
- решить внутренние противоречия проблемной задачи;
- остановиться на одном решении, которое удовлетворяет всем существующим критериям.

Примерами гибких стратегий есть: стратегия «открытого сейфа», стратегия увеличений и др.

Основными шагами стратегии «открытого сейфа» есть: анализ в контексте проблемной задачи новейших научных открытий; анализ причин возникновения проблемной ситуации с целью их устранения организационными средствами; применение для решения проблемы осознанно-логических умственных операций; уточнение (трансформация) проблемной задачи и выбор другой стратегии.

Стратегия увеличений сводится к определению границ, в которых лежат приемлемые решения. Шагами этой стратегии есть: составление полного описания основных технических требований к объекту исследования; предыдущее определение интервала значений, в котором находится отыскиваемая величина, (например, оптимум); создание модели объекта, которая разрешает изменять ее параметры в интервале неопределенности; испытание модели и нахождение границ интервала значений, в котором находится величина, которую отыскивают, и выбор другой стратегии.

Рассмотренные примеры стратегий поиска обычно используют в роли планов научных исследований, а также намеченной последовательности методов ведения исследования и оценки его результатов.

Эффективность творческого процесса связанная с затратами творческой энергии и трудоспособностью исследователя. В динамике трудоспособности выделяют три стадии:

1. Первая стадия характеризуется значительной затратой творческой энергии относительно результатов. Это отвечает известной поговорке «лиха беда

— начало».

2. Вторая стадия наиболее эффективная. На этой стадии принимают все важнейшие решения.

3. Третья стадия характеризуется снижением эффективности затрат творческой энергии, которая часто связана с усталостью, ослаблением надежды на успех.

Учет этих стадий во время планирования исследования формирует его тактику. Так, в третьей стадии следует принять решение об окончании исследования, учитывая то, что «наилучшее — враг хорошего». Надо своевременно остановиться и помнить, что любое знание относительное. Если результат исследования вообще удовлетворяет принятым критериям, тогда его уточнение можно оставить на будущее или перенести на этап эксперимента. Можно начать поиск других способов решения задач.

Явление усталости возникает иногда и на второй стадии. Тогда есть два выхода из этой ситуации — прервать разработку на определенное время или воспользоваться чей-то помощью. Чрезмерная вера в собственные знания и умение, а также нежелание давать просмотру свои взгляды — одна из частых причин низкой эффективности творческой работы.

В период поиска идеи исследователь не должен раставаться с проблемой даже в стадии усталости. Так, Тим Ейлоарт в статье «Приемы настраивания творческого инженерного коллектива» пишет: «Спать с проблемой, идти на работу, гулять, принимать душ, ехать, пить, есть, играть в теннис — все с нею».

Обдумывание вариантов решения задач наиболее продуктивно тогда, когда человек выполняет работу, которая не требует умственного напряжения, например, косит траву, красит, моет окна, ожидает автобуса или приема у врача. Изменение характера деятельности переводит нахождение решения на неосознанный уровень. Потом, когда исследователь снова концентрирует внимание на решаемой задаче, к нему приходит вдохновения (творческий инсайт). Но следует помнить, что вдохновение может прийти лишь после напряженной предыдущей работы над проблемой, которая сопровождается

значительными волевыми усилиями. Лишь в этом случае стирается граница между осознанным и неосознанным в человеческой психике, раскрываются резервы мозга. Решения, полученные на неосознанном уровне, выходят на осознанный уровень. Талант ученого в этом случае состоит в умении выделить в потоке сформированных решений практически значимое.

## **7. Формирование идей**

Любая творческая идея выделяется из большого количества менее значимых идей. Процесс, с помощью которого это достигается, называется формированием идей (ideation). Чем сложнее проблема, тем более альтернатив приходится рассматривать, чтобы найти решение. Статистика показывает, что для создания одного изделия, которое пользуется большим спросом и способное приносить прибыль, необходимо иметь 50-60 хороших идей. Для формирования такого количества идей нужны старательность, творческое воображение и внутренняя дисциплина.

Творческое воображение способна заставить работать, лишь сняв оковы традиционности, выработать иммунитет против критики типа «это не будет работать» и принять вызов достичь «невозможного». Обычными методами никогда не удастся получить удачные решения трудных, неблагоустроенных проблем. Решения, полученные без искры творчества, есть лишь временными и часто служат источником новых проблем. Это скоростные автомагистрали, загрязнение воздуха, которое есть побочным продуктом индустриализации общества, и безработица как следствие автоматизации.

Направить воображение в творческое русло можно путем специальных методов, которые получили наименование методов «генерирования идей».

В системе методов генерирования идей выделяют такие группы: применение эвристических функций аналогии и инверсии; применение эвристической функции ассоциации; применения эвристических функций анализа и синтеза; применение эвристических функций абстрагирования и конкретизации;

коллективного генерирования идей.

К методам, основанных на применении эвристических функций аналогии и инверсии, относятся: метод каталога, метод фокальных объектов, метод гирлянд случайностей и ассоциаций.

Инверсия есть способом получения новой точки зрения. Соответственно этому способу, если некоторый объект обычно рассматривается извне, тогда инверсия означает, что теперь он будет исследован изнутри. Если в рассмотренном устройстве определенная деталь всегда располагается вертикально, тогда инверсия означает, что ее ставят в горизонтальное положение или размещают под определенным углом. Инверсия — это выворачивание наизнанку. Эвриемами (типичными приемами) инверсии есть: обращение, компенсация, реверсирования, антитезис, инверсия точки зрения и др.

Аналогия — это способ получения идей путем установления похожих черт в разных объектах и явлениях природы. Наследование лежит в основе аналогии.

На практике используют преимущественно четыре вида аналога: прямая, символическая, личная, фантастическая.

По прямой аналогии рассмотренный объект сравнивают с более или менее похожим из другой области техники или природы.

Символическая аналогия требует формулирование в парадоксальной форме сути явлений или понятий. Например, прочность — принудительная целостность.

Личная аналогия (эмпатия) — отождествления себя с исследуемым объектом. Нужно вжиться в образ объекта, который совершенствуют, с целью выяснения возникающих при этом ощущений, то есть «ощутить» задачу.

Фантастическая аналогия предполагает введения в объект исследования каких-то фантастических средств (из литературы, сказок), которые выполняют заданную функцию.

Эвриемами аналогии есть: имитация, гиперболизация, миниатюризация, замещения, протезирования, формализация и т.п..

Довольно эффективными методами активизации творческого мышления есть использование ассоциаций, метафор и понятий, признаков которые

переносят на исследуемый объект. К таким методам относят: метод каталога, метод фокальных объектов, гирлянд случайностей и ассоциаций и т.п.

Метод каталога основанный на отыскивании идеи решения с помощью случайных ассоциаций. Ассоциация или связь идей — это явление, которое состоит в том, что человек, наблюдая, слушая, пробуя или воспринимая что-то, одновременно представляет себе что-то другое, похожее на непосредственно воспринимаемое.

Для возникновения ассоциаций используют разные метафоры, которые служат для отыскания изобретательских идей. С целью очерчивания пространства поиска идей и повышение степени их оригинальности используют гирлянды ассоциаций (метафор). Например: воздух — невидимая среда — материальный дух — что топором не перерубишь?

Если на объект, что усовершенствуют, перенести признаки других, случайно избранных объектов, тогда резко возрастает количество неожиданных вариантов решения.

Метод фокальных объектов состоит в перенесении признаков случайно избранных объектов на объект, что усовершенствуют, что лежит будто в фокусе переноса.

Метод гирлянд случаев и ассоциаций есть развитием метода фокальных объектов. Сущность метода состоит в многократном перенесении признаков случайно избранных объектов на объект, что усовершенствуют. На основе первого переноса признаков формируется их перечень. Потом поочередно из этих признаков формируют новые гирлянды ассоциаций и др. К элементам гирлянды синонимов технического объекта присоединяют элементы гирлянды ассоциаций. В результате могут образоваться такие варианты решений: кресло в виде пузыря, табурет из пены, пуф, наполненный воздухом.

К методам применения эвристических функций анализа и синтеза относят: морфологический анализ, функциональный анализ, системно-функциональный анализ, функционально-стоимостной анализ, метод контрольных вопросов.

Методы генерирования идей, основанные на анализе и синтезе, используют

известное свойство ума, на которую опирается умственная деятельность — путем различения элементов отыскивают возможность их объединения в новую целостность.

Эвристические функции анализа и синтеза используют прежде всего для усовершенствования существующих конструкций.

Эвриемами анализа являются: расчленение, измельчение, редукция, элиминация, секционирование, дезинтеграция, изолирование, локализация, десинхронизация, деструкция, сепарирование, сортировка, селекция, отсеивание, специализация, классификация и др.

Эвриемами синтеза являются: объединение, дублирование, мультипликация, интеграция, которая концентрирует, пространственное сращивание, компаундирование, агрегатирование, гирляндное и модульное объединение, легирование, смешивание и т.п..

Метод морфологического анализа предложенный швейцарским физиком Ф. Цвiкки. Соответственно этому методу сначала выделяют главные характеристики объекта, которые называют осями. Потом на каждой оси записывают все возможные варианты реализации этих характеристик. Варианты реализации называют элементами. Например, рассматривая проблему запуска автомобильного двигателя в зимних условиях, можно взять как оси источника энергии для подогрева, способы передачи энергии от источника к двигателю, способы управления этой передачей и др. Элементами для оси «источника энергии» могут быть: аккумулятор, химический генератор тепла, горячая вода, пар и т.п. Имея запись элементов по всем осям и комбинируя соединение разных элементов, можно получить очень большое количество всяких вариантов, в том числе, и оригинальных.

Оси и элементы объекта можно располагать в форме диаграммы или таблицы, матрицы, карты, ящика идей. Наглядное представление осей и элементов объекта в виде графов диаграмм, матриц и т.п. оказывает содействие их четкому пониманию.

Метод морфологического анализа предусматривает такие шаги:

- формулирования задачи;
- составление списка характерных параметров объекта;
- составление списка частичных решений для каждого параметра или признака;
- определение функциональной ценности всех воображаемых соединений.

Развитием метода морфологического анализа есть метод структурных карт, предложенный Ф. Цвікки и К. Норіс. Целью метода есть создания области возможных решений. Основу структурных карт составляют понятия общих и частных характеристик объекта исследования. Комбинируя частицы характеристики, можно получить абсурдные и рациональные решения.

К. Норис называет такие сферы целесообразного использования метода структурных карт: морской транспорт, железная дорога, автомобильный транспорт, стационарные наземные резервуары и др.

Метод функционального анализа Дж.К. Джонса сводится к определению функций, с помощью которых можно превратить входные сигналы на исходные характеристики разрабатываемой системы. Метод содержит такие шаги:

- определение входных и исходных сигналов системы;
- подбор системы функций, с помощью которых превращаются входные сигналы на исходные характеристики;
- разработка технических устройств для осуществления каждой из этих функций;
- проверка полученной системы на внутреннюю и внешнюю совместимость.

Развитием метода функционального анализа есть системно-функциональный анализ. Соответственно этому методу в составе входных сигналов учитывают связи с другими системами, внешней средой. Общий период функционирования системы подразделяется на этапы, эпизоды, фрагменты. Декомпозиция времени функционирования системы разрешает корректно подойти к определению полного перечня функций системы. Аналогично

осуществляют декомпозицию основной задачи (цели), решаемого системой. К каждому фрагменту функционирования подбирают технические устройства, которые осуществляют каждую из функций, которые обеспечивают решение задач системы.

Функционально-стоимостный анализ сводится к усовершенствованию конструкций с целью снижения их стоимости без изменения принципов, которые лежат в их основе. Снижение стоимости достигается путем правильного определения функций отдельных элементов конструкции и разработки конструктивных решений соответственно этим функциям. Разработка конструктивных решений сопровождается определением затрат и экономичности выполнения функций, ранжирования полученных решений и выбором оптимального.

Метод контрольных вопросов сводится к использованию заранее подготовленных наводящих вопросов для активизации творческого процесса. Широко распространенные универсальные вопросники А. Осборна Э. Раудзенца, Т. Ейлоарта, Д. Пирсона, Д. Пойа, Г. Буша. Метод применяется или в форме монолога исследователя, обращенного к самому себе, или диалога.

Типичные вопросы: а если сделать наоборот? А если заменить эту задача другим? А если изменить форму объекта? А если взять другой материал?

К методам, основанных на применении эвристических функций абстрагирования и конкретизации относятся: индуктивные и дедуктивные выводы, метод организующих понятий, исключения чрезмерности и др.

Эвриемами абстрагирования являются: отождествления, изолирования, конструктивизация, предположение потенциальной осуществленности и т.п.

Конкретизация и абстрагирования являются паром умственных операций, которые находятся в диалектическом единстве. Человек, живя среди конкретностей и манипулируя ими, получает информацию. Анализируя эту информацию, человек создает разные новые понятия, которые формируют сферу абстракций, где возникают разные замыслы деятельности, которые потом переносятся в сферу конкретностей. Этот процесс протекает непрерывно.

Наиболее ярко диалектическое единство абстрагирования и конкретизации оказывается в методе организующих понятий, разработанному ф. Ханзеном в 1953 г.

Метод Ф. Ханзена содержит такие этапы:

1) установления организующих понятий и определение их отличительных признаков;

2) классификация организующих понятий по степени их важности;

3) проведения наглядных сопоставлений организующих понятий их отличительными признаками и разработка на этой основе руководящего материала для всех возможных решений, которые отвечают избранным ограничениям;

4) оценка признаков относительно их соответствия специальным требованиям задачи;

5) комбинация признаков разных организующих понятий в решение.

Запись организующих понятий, их отличительных признаков осуществляется в виде таблицы (руководящего материала) и облегчает нахождение отыскиваемого решения.

Метод исключения чрезмерности (Э. Метчет, Дж. Джонс) основанный на исключении лишних элементов за критериями их ценностей. Обычно для этого используют графы связей между элементами. Во время анализа ценностей связей отыскивают те элементы, которые несущественные для целого и вводят в лишние расходы материала и работы. Объединение или деление связей дает новую концепцию технического объекта.

Метод индуктивных и дедуктивных выводов сводится к установлению какого-либо нового суждения на основании одного или нескольких суждений. Дедуктивные выводы представляют собой вывод части случая из определенного общего положения. В индуктивных выводах, наоборот, на основании частных случаев приходят к общему положению. В научных исследованиях дедукция и индукция всегда находятся в единства.

В структуре методов генерирования идей особое место занимает «Алгоритм

решения изобретательских задач» ли «АРИЗ», предложенный ГС. Альтшулером (1964 г.). Метод ГС. Альтшулера использует ряд эвристических функций и выводит на качественно высший уровень направленного анализа через синтез. «АРИЗ» — хорошо продуманный набор эвристических правил. Процесс решения творческой задачи разделяют на четырех стадиях:

#### I. Стадия выбора задачи.

Первый шаг: определить, какая конечная цель решения задачи.

Второй шаг: проверить, можно ли достичь той самой цели решением «обходной» задачи.

Третий шаг: определить, решение коакой задачи, первоначальной или обходной, может дать больший эффект.

Четвертый шаг: определить необходимые количественные показатели и внести «исправление на время».

Пятый шаг: уточнить требования, вызванные конкретными условиями в которых предполагается реализация изобретения.

#### II. Аналитическая стадия.

Первый шаг: определить идеальный конечный результат (ответить на вопрос: «Что желательно получить в идеальном случае?»).

Второй шаг: определить, что мешает получению идеального результату (ответить на вопрос: «В чем непосредственно состоит препятствие?»).

Третий шаг: определить, чему мешает (ответить на вопрос: в чем непосредственно причина препятствия?»).

Четвертый шаг: определить, при каких условиях ничто не могло бы получить идеальный результат (ответить на вопрос: «При каких условиях исчезнет препятствие?»).

#### III. Оперативная стадия.

Первый шаг: проверить возможность устранения технического противоречия с помощью таблицы типичных приемов (еврием).

Второй шаг: проверить возможность изменения в среде, которая окружает объект.

Третий шаг: перенести решение из других областей техники (ответить на вопрос: «Как решаются в других областях техники задачи, подобные данным?»).

Четвертый шаг: применить «обратные» решения (ответить на вопрос: «Как решаются в технике задачи, обратные данным или нельзя использовать эти решения, взяв их, так сказать, со знаком минус?»).

Пятый шаг: использовать «прообразы» природы (ответить на вопрос: «Как решаются в природе более или менее похожие задачи?»).

#### IV. Синтетическая стадия.

Первый шаг: определить, как должны быть перестроены после изменения одной части объекта другие его части.

Второй шаг: определить, как должны быть изменены другие объекты, которые работают вместе с данными.

Третий шаг: проверить, можно ли измененный объект применять по-новому.

Четвертый шаг: использовать найденную техническую идею (ли идею, обратную найденной) во время решения других задач.

АРИЗ развивается и постоянно усовершенствуется. Ныне известные его варианты: АРИЗ-59, АРИЗ -61, АРИЗ-64, АРИЗ-65, АРИЗ-68, АРИЗ-77, АРИЗ-80.

Дальнейшим развитием АРИЗ есть алгоритм поиска новых технических решений (обобщенный эвристический алгоритм), разработанный под руководством А.И. Половинкина. Этот алгоритм содержит ряд оригинальных разработок авторов, а также рациональные приемы и процедуры с некоторых других методов, в том числе: морфологического ящика, функционального изобретательства, организующих понятий и др.

Обобщенный алгоритм ориентирован на синтез новых технических решений с помощью ЭВМ в диалоговом режиме. Алгоритм состоит из 17 этапов (табл. 2.1). Во время прохождения этих этапов используют большой информационный массив (табл. 2.2). Сохранение его в памяти ЭВМ обеспечивает быстрый поиск нужных вариантов на каждом этапе решения задачи.

Таблица 2.2. Важнейшими моментами в АРИЗ и обобщенном алгоритме

есть: представления идеального результата, применения эвристических приемов и правил устранения технических противоречий.

С помощью вопроса об идеальном конечном результате («Вообразите себе идеальный конечный результат (ИКР)») достигается такая степень переформулирования требования, по которой мысль исследователя направляется на преодоление основного противоречия в составе задачи при условии получения наивыгоднейшего результата. Выбор основного противоречия в составе исходных данных есть определяющим пунктом всего хода решения задача.

Основное противоречие складывается между определяющими, т.е. внутренними и необходимыми сторонами в структуре исследуемой системы. Радикальное устранение основного противоречия приводит к коренному изменению качественной определенности предмета.

Таблица 2.1. Этапы обобщенного эвристического алгоритма

№ зп	Наименования этапа	Используемый массив
1	Определения общественной потребности	M1, M2
2	Определения цели решения задача	
3	Предыдущее изучение задачи	M3, M4
4	Сбор и анализ информации о задаче	M4
5	Исследование задачи	
6	Выбор параметров объекта и предлагаемых к нему ограничений (требований)	MI
7	Уточнения формулирования задачи	
8	Формулирования конечного результата	
9	Выявления технических и физических противоречий в технической системе	M5
10	Выбор поисковых процедур и эвристических приемов	M6, M7
11	Поиск идей решения задачи	
12	Анализ и проработка идей решения задачи	M3, M4
13	Выбор рациональных вариантов технических решений	
14	Выбор наиболее рационального варианта технического решения	M8

## Продолжение таблицы

15	Развитие и упрощение технического решения	М6
16	Анализ технико-экономической эффективности найденного технического решения	М4
17	Обобщения результатов решения задачи	

Ныне выявлен близко 50 стандартных правил преобразования технических систем, которые приводят к эффективным решениям.

При затруднении в индивидуальном решении проблемных задач используют методы коллективного генерирования идей: мозговой штурм, временной штурм, синектика.

Метод мозгового штурма предложен А. Осборном (США) в 40-х годах. Основная концепция мозгового штурма сводится к обеспечению выхода новых идей с подсознания.

В соответствии с теорией З. Фрейда управляемое сознание есть лишь тонким наложением на неуправляемое подсознание, как застывшая корка над расплавленной вулканической магмой. В сознании властвуют логика и контроль, порядок и ясность, в подсознании — хаос, тьма. Психологическая инерция, по мнению А. Осборна, рожденная контролем сознания. Надо помочь новым идеям прорваться из подсознания в сознание. Поэтому А. Осборн построил процесс генерации идей так, чтобы расковать подсознание.

Для проведения мозгового штурма собирается группа «генераторов идей» с 4-12 лиц. В составе группы не может быть руководства. Отношения между участниками работы должны быть непринужденные.

Каждому из участников доводится до сведения, что приветствуются любые идеи и что необходимо получить много идей. Участники должны попробовать комбинировать или усовершенствовать идею, предложенные другими. Запрещается подвергать критике любую идею, которой бы «дикой» она не казалась.

Руководитель штурма торопит участников, вследствие чего они высказывают свои предложения, не успевая их обдумать. Все предложения

участников фиксируются на магнитофонной ленте. Работа продолжается 15-40 минут. Полученные во время штурма идеи передаются на экспертизу группе «критиков». При этом «критики» должны стремиться обнаружить рациональное зерно в каждой идее.

Метод временного штурма учитывает психологические особенности работы исполнителей во времени.

Наблюдения показывают, что если перед коллективом исполнителей установлен срок решения задачи, тогда процесс его решения разбивается на три приблизительно равные этапы.

На первом этапе главное внимание уделяют накоплению информации.

На втором этапе интерес к накоплению информации падает. Вместе с этим, практической реализации решения внимания еще не уделяют, так как исполнители надеются на время, которое осталось.

На третьем этапе главное внимание уделяют практической реализации решения.

Учитывая изложенное после окончания первого этапа директивно переносятся сроки окончания работ. Такое перенесение срока резко сокращает продолжительность второго этапа. Общее время решения задачи сокращается приблизительно на 30%.

Для получения эффекта метода временного штурма необходимо обеспечить возможность целенаправленной углубленной работы на первом этапе.

Метод синектики (предложенный Дж. Гордоном) ставит цель направить спонтанную деятельность мозга и нервной системы человека на решение проблемной задачи.

Соответственно этому методу тщательно подбирают группу специалистов для генерирования идей. Группа может состоять из двух-трех специалистов, которые представляют разные профессии или научные дисциплины и трех специалистов по рассматриваемой проблеме.

Перед участниками работы формулируют проблему и указывают эвристический прием, с помощью которого предлагается генерирования идей

(например, эмпатия). Когда кто-то из членов группы высказывает интересную идею, руководитель стремится направить обсуждение на ее развитие, а иногда и анализ.

В общем случае метод синектики опирается на тот факт, когда умственная деятельность продуктивнее в новой или незнакомой человеку обстановке. Ситуация, аналогичная рассмотренной, быстро отвлекает человека от конкретных условий исследуемой задачи (с традиционным подходом к решению) и требует от его рассмотрения другой задачи, связанного с данным. Таким образом, знакомая ситуация превращается в незнакомую.

## **8. Формулирование и доказательство гипотезы**

Идея как интуитивное объяснение явления без промежуточной аргументации находит специфическую материализацию в гипотезе. В структуре гипотезы освещается вся промежуточная аргументация, вся совокупность связей, на основе которой делается предположение. Гипотеза может рассматриваться как результат осознанного проделывания идеи.

Гипотеза, в отличие от идеи может быть обоснованной, указывать путь дальнейшего исследования. Для того чтобы быть обоснованной, гипотеза может отвечать определенным условиям: непротиворечивости, проверяемости, приспособленности ко всему классу исследуемых объектов.

Первое условие обоснованности гипотезы (условие непротиворечивости) утверждает необходимость ее согласия с фактическим материалом, на базе и для выяснения которого она выдвигается. Гипотеза может также отвечать постоянным в науке законам, теориям и т.п. Нужно придерживаться правила (правило Оккама), если факты могут быть объяснены на основе известных теорий, не следует создавать новые.

Это правило, конечно, не означает, что от гипотезы нужно требовать полного пассивного приспособления к тому, что на момент ее выдвижения считается «фактом». Твердость фактов — вещь довольно относительная. На это

обращал внимание академик К. А. Тимирязев. «Иногда говорят, — писал он, — что гипотеза должна быть в согласии со всеми известными факторами». Гипотеза, которая противоречит факту, вырывает его с обычного теоретического контекста. Она заставляет посмотреть на него с новой, необыкновенной точки зрения и повышает тем самым вероятность найти в нем то, что раньше проходило незамеченным.

Таким образом, от гипотезы следует требовать, чтобы она согласовывалась с общепризнанными фактами и теориями. Но при этом следует иметь в виду, что факты и теории — не только исходный пункт конструирования гипотезы, но и руководство к действию к возможному корректированию как выдвинутого предположения, так и самых фактов и теорий.

Второе необходимое условие обоснованности научной гипотезы — его проверяемость. Гипотеза может предполагать возможность опровержения и возможность подтверждения.

Гипотезы, которые не предполагают принципиальной возможности опровержения или подтверждения, не являются полноправными, поскольку они не указывают пути для дальнейшего исследования и соображения.

Следует подчеркнуть предположение принципиальной возможности проверки гипотезы. Если в принципе остается возможность проверки гипотезы в будущем, тогда ее не отвергнут. Но, как обычно, такая гипотеза не становится предметом серьезных научных дискуссий.

Третьим условием обоснованности гипотезы есть его приспособленность ко всему классу исследуемых объектов. Из гипотезы должны выводиться не только те явления, для объяснения которых она специально придуманная, но и возможно шире круг родственных им явлений.

Третье условие есть необходимой, но не обязательной. Исследователя - могут интересовать не только классы родственных явлений, но и единичные, неповторимые события. Гипотезы, которые специально придуманы для объяснения отдельного исследовательского факта и не ведут ни к каким другим следствиям, получили название гипотез «ad hoc», то есть служебных гипотез, или

«гипотез к случаю». Такой гипотезой сначала было предположения М. Планка о том, что энергия излучается не непрерывно, а отдельными дискретными порциями — квантами. Сначала эта гипотеза объясняло сравнительно частое явление — излучение абсолютно черного тела. Со временем введения квантов оказалось плодотворным и быстро распространилось на ряд других областей. Альберт Эйнштейн разработал на основе этой гипотезы теорию фотоэффекта, а Нильс Бор — теорию атома водорода.

Когда единая теория определенных явлений лишь складывается, «гипотезы к случаю» обычные и целиком естественные. Но, когда теория уже сложилась, «гипотеза к случаю» вызовет подозрение, становится промежуточной. Возникает потребность в новой гипотезе, применимой к классу явлений. Плодотворность гипотезы — ее способность выяснять и пророчить совсем новые факты. Подтверждения гипотезы такими фактами, о существовании которых к ее выдвигению невозможно было даже предположить, прямо говорит о том, что она охватывает глубокое внутреннее родство исследуемых явлений.

Гипотеза как возможное, вероятное знание, не доказанное логически и не подтвержденное опытом, лежит между истиной и неправдой. В случае, если гипотеза получила подтверждение, она превращается в искреннее утверждение и прекращает свое существование. Опровергнутая гипотеза становится ложным положением и опять-таки перестает быть гипотезой.

Переход от жизни к смерти гипотезы осуществляется на этапе ее проверки. Проверку справедливости гипотезы осуществляют путем непосредственного наблюдения, вывод гипотезы из какого-либо более общего положения, использования метода исключения, подтверждения следствий выведенному из гипотезы.

# Лекция №2 Информационное обеспечение научной работы

(≈ 4 часа)

## 1. Понятие научно-технической информации

Информация дороже денег. Уровень развития науки в значительной мере определяется характером, достоверностью, целевым назначением информации, которая получена в результате познания. Информация есть теоретической и экспериментальной основой для достижения цели научных исследований и решение поставленных задач. Она является доказательством обоснованности научных положений, их достоверности и новизны. Существует мысль, что решение научно-технических проблем на 90% зависит от информации и только на 10% - от интуиции. Информация - это определенные сведения об объектах, явлениях окружающей среды, их параметры, качество и состояние. Информация создается в результате деятельности научных коллективов, отдельных ученых и фиксируется в системе точных понятий, утверждений, теории, гипотез. Информация является общенаучным понятием, которое включает не только сведения, но и сбор, хранение и переработку.

Научная информация распространяется во времени и пространстве с помощью определенных каналов, средств и методов. В зависимости от накопления, использования, назначения и восприятия научная информация классифицируется на:

техническую информацию - характеризует физические процессы в разных объектах при создании продукции из исходных компонентов;

экономическую информацию — это сведения об экономическом развитии общества и его эффективность;

социальную информацию - сведения о человеке, коллективе и обществе в целом, как объект исследования.

Таким образом, научно-техническая информация - это совокупность полных, точных ведомостей о развитии природы, общества и человека, зафиксированных в научном документе.

## 2. Понятие научного документа

Научный документ является структурной единицей информационных ресурсов.

В повседневной деятельности под документом понимают любую бумагу, которая имеет юридическую силу, что-то удостоверяет, предоставляет некоторые права или обязанности. Документ в науке - это материальный объект с Информацией о фактах, событиях, явлениях объективной действительности и умственной деятельности людей, которая закреплена созданным человеком способом передачи и хранения во времени и пространстве.

Классификация документов происходит на основе многих критериев. По способу фиксации информации документы делятся:

- письменные (материалы архивов, прессы, справочники, художественная литература, личные документы - т.е. те, в которых информация изложена в форме буквенного текста);

- статистические (принимаются во внимание те документы, в которых форма по предоставлению информации в основном цифровая);

- иконографические (все изобразительные документы, как статические - скульптуры, дома, орнаменты, картины, фотографии, так и динамические - кино-, теле-, видео-материалы);

- фонетические (языковые материалы, разговоры, песни, сказки и т.п. в их озвученном виде - пластинки, магнитофонные записи);

- документы, которые передают информацию в закодированном виде с помощью электронной техники. Форма документа в значительной мере определяет способ его анализа.

В зависимости от статуса источника различают документы: официальные и неофициальные.

Кроме этого, документы делятся на:

первичные - в которых содержатся результаты научных исследований и разработок, новые научные данные, идеи, факты. На основе этих документов

формируется первичная информация;

вторичные - где содержатся аналитико-синтетические и логические материалы, которые уже обработаны на основе первичных документов.

Такая изменчивость есть условной. Важными источниками первичной информации есть книги, монографии, брошюры, пособия и периодические издания.

Книга - это довольно объемное неперiodическое издание, в котором сконцентрированные нагроможденные человечеством знания и опыт из определенной области науки.

Брошюра - это небольшого объема работа с оперативной информацией.

Среди книг и брошюр важное место занимают монографии, в которых освещены результаты всестороннего изучения определенной проблемы или темы. Монография может быть подготовлена как одним автором, так и коллективом.

Особое место среди книг, которые используются в сфере научной информации, занимают учебники и пособия - неперiodические издания, в которых содержатся систематизированные сведения научного и прикладного характера, изложенные в доступной форме как для преподавателей, так и для студентов.

Наиболее оперативным источником научно-технической информации есть периодические издания, которые выходят через определенный промежуток времени, с постоянным для каждого года числом номеров, но не повторяются по смыслу, имея одинаковое название. Традиционными видами периодических изданий являются журналы и газеты. К периодическим также относят сборники научных работ научных работников ВУЗ, научно-исследовательских институтов.

К специальным видам технических изданий относят нормативно-техническую документацию, которая регламентирует научно-технический уровень и качество продукции: стандарты, типовые положения, методические разработки.

Стандарты - нормативно-технические документы, в которых установлен

комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации и утвержденный компетентными органами.

Большое значение для выполнения научно-исследовательской работы имеет патентная документация, т.е. совокупность документов об открытии, изобретениях, а также сведения об охране прав изобретателей. Патентная документация характеризуется высоким уровнем достоверности, поскольку эта документация подлежит экспертизе на предмет новизны и полезности.

Такое количество научных документов объясняется характером знаний и разноплановой деятельностью людей.

Научный документ отображает конкретную научную ситуацию на всех этапах научного исследования: от возникновения идеи к созданию, проверке теории и практического ее внедрение.

Структура научных документов приведена в таблице 1.

Таблица 1

*Видовая структура научных документов*

Виды	Первичный	Вторичный
Книжки, брошюры	Монографии, справочники, материалы	Библиографические, реферативные, обзорные
Периодические	Издание с продолжением, журналы, бюллетени, газеты, ведомости	Библиографические (картотека), реферативные (сборники), экспресс-информация, официальные
Специальные	Нормативно-технические документы, нормативно-производственные справки,	Показатели стандартов и технических условий отечественных и
Рукописные	Научные отчеты, научные приклады, информационные ведомости о	Бюллетени регистрации НИР, сборники рефератов НИИ, ОКР,

В конце XX столетие создано мировую систему Internet, которая объединяет больше 30-ты миллионов пользователей из 100 стран мира, который

подтверждает состояние и направление развития информатизации современного мира.

Наиболее важной областью использования компьютеров есть создания глобальных телекоммуникационных сетей, которые бы объединяли человечество в единый информационный союз. Глобальная сеть Internet - это всемирное объединение региональных и корпоративных сетей, которые создают единое информационное пространство благодаря использованию стандартных протоколов передачи информации.

Следует отметить, что с развитием электронных средств информации актуальность документальных источников не снижается и потребность в них не уменьшается.

Традиционным средством передачи и сохранения информации есть приведения в порядок документальных фондов. Наиболее распространенной есть Универсальная десятичная классификация (УДК), которая используется более чем в 50-ты странах мира и юридически является собственностью Международной федерации документации (МФД), которая отвечает за разработку таблиц УДК, их состояние и издания.

УДК – это международная универсальная система, которая разрешает детально представить содержание документальных фондов, обеспечить оперативный поиск информации, имеет возможность своего развития и самосовершенствования. Она состоит из основной и вспомогательной таблиц. Основная таблица содержит понятие и соответствующие им индексы, с помощью которых систематизируют знание человечества.

Каждый следующий шаг «на пути к прогрессу достигается тяжелее, поскольку не только значительно возрастает объем информации, но и проходит ее старение. Поэтому для ускорения и эффективного отбора нужной информации в Украине созданная общегосударственная служба научно-технической информации (НТИ).

Эта служба включает отраслевые информационные центры, отделы НДІ, конструкторские бюро. Сбор, сохранение и предоставление информации

осуществляют справочно-информационные фонды (СИФ). В Украине есть отраслевые, республиканские и местные (в НИИ, ВУЗ, ОКБ) СИФ. В этих организациях установлен определенный порядок сохранения информации.

В научно-исследовательской работе особое место занимает поиск и анализ научной информации.

### **3. Организация поиска и сбора научной информации**

Цель поиска информации — всестороннее освещение состояния вопроса по теме, уточнение ее (если это необходимо), обоснование цели и задач научного исследования.

Для проведения научного исследования нужна как первичная, так и вторичная информация.

Первичная информация - это исходные данные, которые являются результатом конкретных экспериментальных исследований, изучение практического опыта.

Вторичная информация - это результат аналитико-синтетической переработки первичной информации.

Организация сбора и отбора информации для проводки научных исследований предусматривает:

- определение круга вопросов, которые будут изучаться;
- хронологические границы поиска необходимой литературы;
- уточнение возможности использования литературы зарубежных авторов;
- уточнение источников информации (книги, статьи, патентная литература, стандарты и т.п.);
- определение степени отбора литературы - всю по данному вопросу, или только отдельные материалы;
- участие в работе тематических семинаров и конференций;
- личные контакты со специалистами по данной проблеме;
- изучение архивных документов, научно-технических отчетов;

—поиск информации в Интернете.

Исходную информацию можно найти в общей и специальных энциклопедиях, а также в списках литературы, которые приложены к тематическим и обзорным работам, которые имеют отношение к теме. В этом случае поиск информации ведется в антихронологическом порядке - от более поздних источников к более ранним. Такой путь поиска быстрее приводит к поставленной цели.

При поиске информации нужно придерживаться определенных принципов ее формирования, а именно:

—актуальность информации должны реально отображать состояние объекта исследования в каждый момент времени;

—достоверность - это доказательство того, что названный результат есть истинным, правдивым;

—информация должна точно воссоздавать объективное состояние и развитие объекта;

—информационное единство, т.е. представление информации в такой системе показателей, при которой исключалась бы вероятность противоречий в выводах и несогласование первичных и полученных данных;

- релевантность данных, т.е. получение информации по запросу пользователя, включая работу с данными, которые не принадлежат к исследованию.

Соблюдение этих принципов позволило бы исключить дублирование научных исследований. За подсчетами американских специалистов, от 10 до 20% научно-исследовательских работ можно было бы не проводить, если бы правильно была подобрана научная информация по проблеме, которая изучается.

Поиск нужной информации с каждым годом усложняется. Поэтому все научные работники должны знать основные положения информационного поиска.

Информационный поиск - это совокупность операций, направленных на поиск документов, которые нужны для разработки темы проблемы.

Поиск может быть: ручной, который осуществляется за

библиографическими карточками, картотеками, каталогами, механическим и автоматизированным. Определение состояния изученности темы целесообразно начать из знакомства с информационными изданиями, которые содержат оперативные систематизированные ведомости о документах, более существенных сторонах их содержания.

Информационные издания, в отличие от библиографических, включают не только сведения о напечатанных работах, а и идеи и факты, которые в них содержатся. Кроме оперативности, их характеризует новизна представленной информации, полнота охваченных источников и наличие справочного аппарата, который облегчает поиск и систематизацию литературы.

Информационные издания охватывают все области народного хозяйства, их выпускают институты, службы НТИ, центры информации, библиотеки.

К основным институтам и организациям Украины, которые осуществляют централизованный сбор и обработку информации основных элементов опубликованных документов, есть: Книжная палата Украины, Украинский институт научно-технической и экономической информации (УкрИНТЭИ), Национальная библиотека Украины им. В.И. Вернадского и другие библиотечно-информационные учреждения общегосударственного и регионального уровней.

Для подтверждения достоверности выводов и результатов исследования, проверки рабочей гипотезы важное значение имеет первичная информация.

#### **4. Методы накопления научной информации**

Наиболее распространенными и содержательными методами накопления первичной информации есть: опрашивание, наблюдение, эксперимент, имитация.

Опрашивание — это метод получения первичной социологической информации, который основывается на письменном или устном обращении к определенной общности людей - респондентам с вопросами, содержание которых является проблемой исследования на уровне эмпирических индикаторов и который предусматривает регистрацию и статистическую обработку полученных

ответов, а также их теоретическую интерпретацию.

По формам и условиям общения и получение информации от респондентов различают два типа опрашивания - анкетирование и интервью, каждый из которых встречается во многих разновидностях.

Для опрашивания важно качественно подготовить анкету - систему вопросов, объединенную единым планом исследования для выяснения проблемной ситуации и изучение характеристик объекта анализа. Анкета, как правило, имеет 30-40 вопросов. Чтобы анкета могла успешно выполнить свое назначение - даты исследователю возможную информацию, нужно знать и придерживаться ряда правил и принципов ее конструирования и, прежде всего, разных вопросов, из которых составляется анкета.

Надежность информации во многих случаях зависит от формулирования вопросов. Вопросы и ответы на них должны принадлежать теме исследования, формулироваться коротко, четко и однозначно, так, чтобы респондент их правильно понял и смог избрать адекватный ответ. Если исследователь недостаточно уверен в том, что перечень возможных ответов есть исчерпывающим, целесообразно использовать полуоткрытый вопрос.

Существуют и другие требования к составлению анкет, в частности: обеспечение возможности уклонения от ответа, сбалансированность положительных и отрицательных суждений; в формулировании вопросов не должно быть явных или скрытых подсказок, они не должны навевать воображение об «плохих» или «красивых» варианты ответов.

Опрашивание начинается с обращения, которое раскрывает цель исследования, объясняет содержание, а если есть потребность - правило заполнения анкеты. Далее используют контактные вопросы, ответа на которые есть довольно легкими. Эти вопросы должны быть близкими к теме опрашивания и постепенно вводить респондента в исследуемую проблему.

Второй, устной, формой опрашивания есть, как отмечалось выше, интервью. Интервью - это беседа, которая проводится по определенному плану и предусматривает непосредственный контакт интервьюера с респондентом.

Ответы последнего записываются или интервьюером, или механически - на пленку.

Интервью, как правило, используется, во-первых, на ранней стадии исследования для уточнения проблемы и составления программы, во-вторых, при опрашивании экспертов, специалистов, которые глубоко разбираются в том или ином вопросе.

Для того чтобы взять интервью, требуется определенная подготовка, не каждый человек может быть интервьюером. Для этого нужны личностные качества - общительность, вежливость, коммуникабельность, уравновешенность, довольно высокая общая культура, умение быстро переключаться на новые вопросы, находить выход из сложных ситуаций общения. Значительную роль в процессе интервью имеет компетентность исследователя по исследуемой проблеме, знание особенностей среды респондентов (образовательный и культурный уровень, интересы, особенности работы и быта, специфика языкового общения и т.п.).

Метод опрашивания используется в ряде случаев:

- когда исследуемая проблема недостаточно обеспеченная документальными источниками информации или когда такие источники вообще отсутствуют;
- когда предметом исследования являются характеристики, которые недоступны для наблюдения;
- как контрольный метод для расширения возможностей опрашивания и анализа исследуемых характеристик и для проверки данных, которые получены другими методами.

Метод опрашивания предусматривает получение социологической информации в ситуации социально-психологического общения, которое накладывает свой отпечаток на ее содержание и качество. Поэтому в науке наработано значительное количество методических требований и процедур для того, чтобы преодолеть субъективизм, повысить надежность и эффективность данной формы сбора информации.

Наблюдение - это аналитический метод, с помощью которого изучают и фиксируют современное состояние объекта в результате прошлого, в реальных ситуациях.

Эксперимент — это накопление данных в контролируемых условиях, изменяя один или несколько факторов.

Имитация - метод, основанный на использовании ЭВМ, который воссоздает применение разнообразных факторов не в реальных условиях:

- строятся модели контролируемых и неконтролируемых факторов;
- определяется влияние на общую стратегию исследования.

Эффективным методом сбора первичной информации есть *анализ документов*.

Анализ документов первичной и вторичной информации разрешает получить объективно существующее состояние и развитие науки в целом и отдельных научных направлений.

## **5. Анализ собранной научной информации**

После проведения эмпирического исследования начинаются его заключительные этапы: обработка, анализ и обобщения данных. Эффективность исследования зависит не только от объема информационного массива, а и от глубины и всесторонности его анализа. Сама по себе первичная информация не дает возможности сделать выводы, проверить гипотезы и, таким образом, решить задача, которые были поставлены в программе. Поэтому овладение приемами и методами анализа полученных данных – залог результативного исследования.

Для успешного проведения обработки информации нужно придерживаться определенной последовательности. Сначала информация проходит стадию предыдущей подготовки к обработке, которая включает в себя решение двух основных задач:

- проверку на точность, полноту и качество заполнения;
- кодирование информации, т.е. ее формализация.

Проверка на точность заполнения предусматривает выявление ошибок в

ответах на каждый вопрос и их коррекцию. При проверке анкет, бланков интервью на полноту заполнения проводится выбраковка тех, которые заполнены меньше чем на половину. При проверке на качество заполнения контролируются четкость, адекватность ответов.

После изъятия части анкет, бланков интервью, которые не отвечают названным критериям, производится процедура кодирования, включающая в себя присвоение каждому варианту ответов определенных условных чисел - кодов. В результате вся информация анкет или бланков интервью превращается в систему чисел, в которой решающее значение имеет сам порядок кодов (чисел). Кодирование информации происходит еще вовремя разработки инструментария, когда варианты ответов на закрытые и полужакрытые вопросы анкеты получают определенные коды. Формализованный список варианта ответов называется кодификатором.

После завершения кодирования начинается непосредственная обработка первичной информации, которая содержит ряд стадий:

- 1) систематизация материала;
- 2) исключение дублирующего материала или материала, который не вкладывается в рамки темы исследования;
- 3) составление вспомогательных указателей и списка обработанной литературы;
- 4) анализ информации, выделение оригинальных концепций, оценка достоверности информации;
- 5) обобщение собранной информации и подведение итогов проведенной работы.

Результаты сбора и обработки информации оформляют в виде научного реферата или научного обзора.

Научный обзор содержит такие элементы: вступительную часть, аналитическую часть, выводы.

## Тема №3 МЕТОДЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

(≈6 часов)

### 1. Задачи теоретического исследования

Целью теоретических исследований является выделение в процессе синтеза знаний существенных связей между исследуемым объектом и окружающей средой, объяснение и обобщение результатов эмпирического исследования, выявление общих закономерностей и их формализация.

Теоретическое исследование завершается формированием теории, не обязательно связанной с построением ее математического аппарата. Теория проходит в своем развитии различные стадии от качественного объяснения и количественного измерения процессов до их формализации и в зависимости от стадии может быть представлена как в виде качественных правил, так и в виде математических уравнений (соотношений).

Задачами теоретического исследования являются: обобщение результатов исследования, нахождение общих закономерностей путем обработки и интерпретации опытных данных; расширение результатов исследования на ряд подобных объектов без повторения всего объема исследований; изучение объекта, недоступного для непосредственного исследования; повышение надежности экспериментального исследования объекта (обоснования параметров и условий наблюдения, точности измерений). При проведении теоретических исследований, основанных на общенаучных методах анализа и синтеза, широко используются расчленение и объединение элементов исследуемой системы (объекта, явления). Метод расчленения предложен французским философом и естествоиспытателем Р. Декартом. В своей работе „Правила для руководства ума” он пишет: „Освободите вопрос от всех излишних представлений и сведите его к простейшим элементам”. В процессе расчленения выделяются существенные и несущественные параметры, основные элементы и связи между ними. Следует, однако, отметить, что каждый объект можно расчленить разными способами и это

существенно влияет на проведение теоретических исследований, так как в зависимости от способа расчленения процесс изучения объекта может упроститься или при неправильном расчленении, наоборот, усложниться. После расчленения объекта изучается вид взаимосвязи элементов и осуществляется моделирование этих элементов. Наконец, элементы объединяются в сложную модель объекта.

Теоретические исследования содержат такие основные этапы:

- анализ физической сущности процессов, явлений;
- формулирование гипотезы исследования;
- построение, разработка математической модели;
- проведение математического исследования;
- анализ теоретических решений, формулирование выводов.

Может быть, принятый и другой порядок теоретических исследований. Например, если не удастся выполнить математическое исследование, то формируют рабочую гипотезу в словесной форме, привлекая графики, таблицы и т.п. Однако, в технических науках необходимо стремиться к применению формализации выдвинутых гипотез и выводов, применение математических методов в исследовании.

Во время теоретических исследований человеку приходится непрерывно ставить и решать разнообразные за типами и сложностью задачи. Эти задачи выступают в форме противоречий теоретических моделей, которые требуют решения.

Теоретические задачи направленные на изучение и выявление причин, связей, зависимостей, которые разрешают установить поведение объекта, определить и выучить его структуру или характеристику на основе разработанных в науке принципов и методов познания.

В логико-психологическом аспекте задача — это несогласованные или противоречивые информационные процессы (системы), соотношение между которыми вызывает потребность в их преобразовании. В процессе решения задачи противоречия между указанными информационными процессами или

системами устраняются.

Структурно любая задача включает условия и требования (рис. 3.1).

Условия — это определение информационной системы, из которой следует исходить при решении задачи. Требования — это цель, к которой нужно стремиться в результате решения. Условия и требования могут быть исходными, привлеченными и искомыми. Исходные условия даются в первоначальной формулировке задачи (исходные данные). Если их оказывается недостаточно для решения задачи, то исследователь вынужден привлекать новые данные, называемые привлеченными. Искомые данные или искомые условия — это привлеченные условия, которые требуется отыскать в процессе решения задачи.

Условия и требования задачи находятся в противоречии, они неоднократно сталкиваются, сопоставляются, сближаются между собой. Такое преобразование структурных компонентов задачи продолжается до тех пор, пока не будет решена сама задача.

Решение теоретических задач должно носить творческий характер. Творческие решения часто не укладываются в заранее намеченные планы. Иногда оригинальные решения появляются «внезапно», после, казалось бы, длительных и бесплодных попыток. Часто удачные решения возникают у специалистов смежных областей знания, на которых не давит груз известных решений. Творческие решения представляют по существу разрыв привычных представлений и взгляд на явления с другой точки зрения. Следует особо подчеркнуть, что собственные творческие мысли (оригинальные решения) возникают тем чаще, чем больше сил, труда, времени затрачивается на постоянное обдумывание путей решения теоретической задачи, чем глубже научный работник увлечен исследовательской работой.

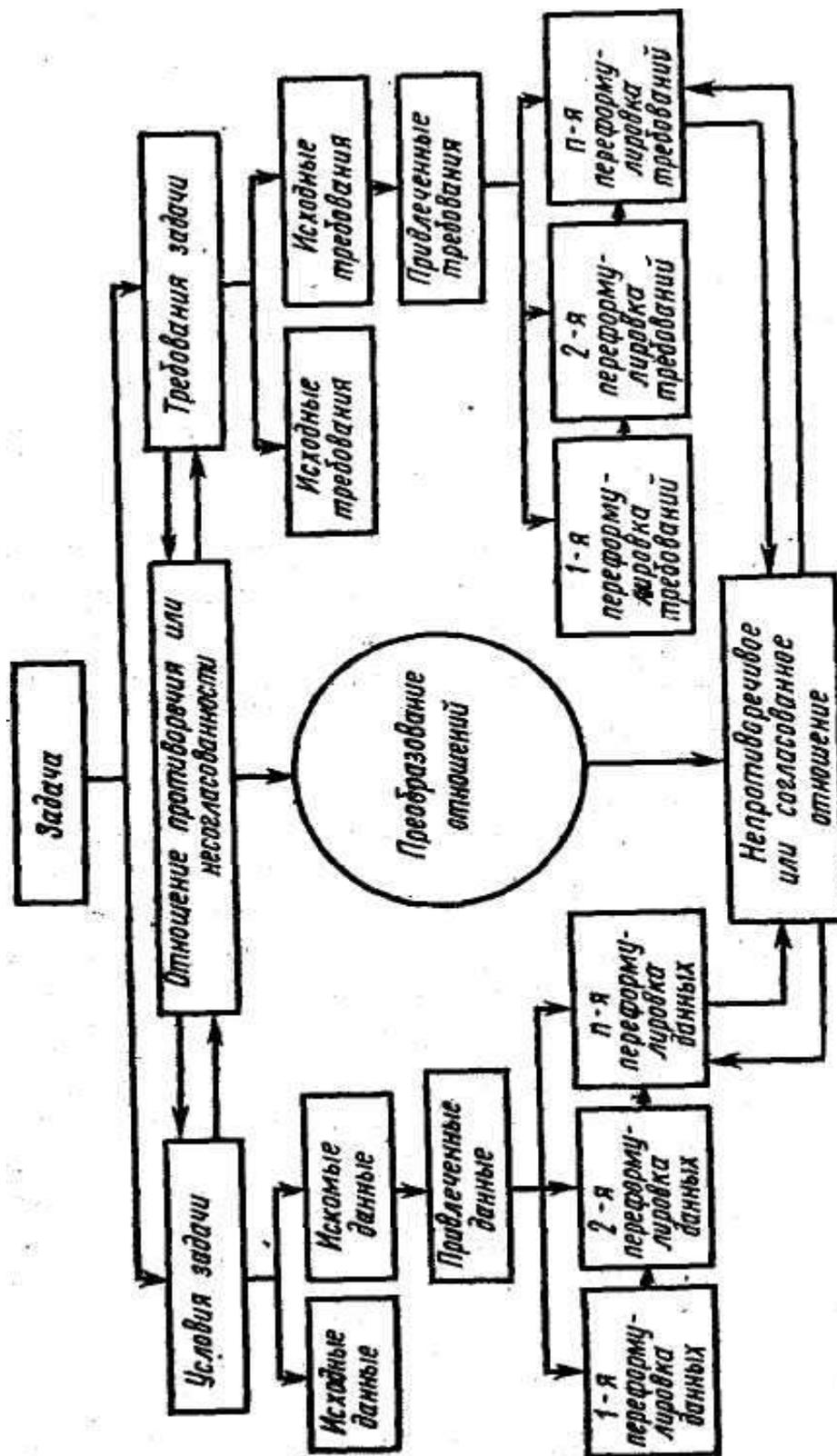


Рисунок 3.1- Структурные компоненты решения задачи

## **2. Понятие метода исследования**

Деятельность людей в любой ее форме (научная, практическая и т. д.) определяется целым рядом факторов. Конечный ее результат зависит не только от того, кто действует (субъект) или на что она направлена (объект), но и от того, как совершается данный процесс, какие способы, приемы, средства при этом применяются. Это и есть проблемы метода.

Метод (греч. — способ познания) — в самом широком смысле слова — "путь к чему-либо", способ деятельности субъекта в любой ее форме.

*Понятие "методология" имеет два основных значения: система определенных способов и приемов, применяемых в той или иной сфере деятельности (в науке, политике, искусстве и т. п.); учение об этой системе, общая теория метода, теория в действии.*

История и современное состояние познания и практики убедительно показывают, что далеко не всякий метод, не любая система принципов и других средств деятельности обеспечивают успешное решение теоретических и практических проблем. Не только результат исследования, но и ведущий к нему путь должен быть истинным.

Основная функция метода — внутренняя организация и регулирование процесса познания или практического преобразования того или иного объекта. Поэтому метод (в той или иной своей форме) сводится к совокупности определенных правил, приемов, способов, норм познания и действия.

Он есть система предписаний, принципов, требований, которые должны ориентировать в решении конкретной задачи, достижении определенного результата в той или иной сфере деятельности.

Он дисциплинирует поиск истины, позволяет (если правильный) экономить силы и время, двигаться к цели кратчайшим путем. Истинный метод служит своеобразным компасом, по которому субъект познания и действия прокладывает свой путь, позволяет избегать ошибок.

Каждый метод — безусловно важная и нужная вещь.

Однако недопустимо впадать в крайности:

а) недооценивать метод, считая все это незначительным делом, "отвлекающим" от настоящей работы, подлинной науки и т. п. ("методологический негативизм");

б) преувеличивать значение метода, считая его более важным, чем тот предмет, к которому его хотят применить, превращать метод в некую "универсальную отмычку" ко всему и вся, в простой и доступный "инструмент" научного открытия ("методологическая эйфория"). Дело в том, что "... ни один методологический принцип не может исключить, например, риска зайти в тупик в ходе научного исследования".

Каждый метод окажется неэффективным и даже бесполезным, если им пользоваться не как "руководящей нитью" в научной или иной форме деятельности, а как готовым шаблоном для перекраивания фактов.

Главное предназначение любого метода — на основе соответствующих принципов (требований, предписаний и т. п.) обеспечить успешное решение определенных познавательных и практических проблем, приращение знания, оптимальное функционирование и развитие тех или иных объектов.

### **3. Научные методы теоретического исследования**

**3.1 Метод формализация** — отображение содержательного знания в знаково-символическом виде. Формализация базируется на различении естественных и искусственных языков. Выражение мышления в естественном языке можно считать первым шагом формализации. Естественные языки как средство общения характеризуются многозначностью, многогранностью, гибкостью, неточностью, образностью и др. Это открытая, непрерывно изменяющаяся система, постоянно приобретающая новые смыслы и значения.

Дальнейшее углубление формализации связано с построением искусственных (формализованных) языков, предназначенных для более точного и строгого выражения знания, чем естественный язык, с целью исключить

возможность неоднозначного понимания — что характерно для естественного языка (язык математики, логики, химии и др.).

Символические языки математики и других точных наук преследуют не только цель сокращения записи — это можно сделать с помощью стенографии. Язык формул искусственного языка становится инструментом познания. Он играет такую же роль в теоретическом познании, как микроскоп и телескоп в эмпирическом познании.

Именно использование специальной символики позволяет устранить многозначность слов обычного языка. В формализованных рассуждениях каждый символ строго однозначен.

Как универсальное средство для коммуникации и обмена мыслями и информацией язык выполняет множество функций.

Важная задача логики и методологии — как можно точнее передать и преобразовать существующую информацию и тем самым устранить некоторые недостатки естественного языка. Для этого и создаются искусственные формализованные языки. Такие языки используются прежде всего в научном познании, а в последние годы они нашли широкое распространение в программировании и алгоритмизации различных процессов с помощью компьютеров.

Достоинство искусственных языков состоит прежде всего в их точности, однозначности, а самое главное — в возможности представления обычного содержательного рассуждения посредством вычисления.

Значение формализации в научном познании состоит в следующем.

◆ Она дает возможность анализировать, уточнять, определять и разъяснять (эксплицировать) понятия. Обыденные представления (выражаемые в разговорном языке), хотя и кажутся более ясными и очевидными с точки зрения здравого смысла, оказываются неподходящими для научного познания в силу их неопределенности, неоднозначности и не точности.

◆ Она приобретает особую роль при анализе доказательств. Представление доказательства в виде последовательности формул, получаемых из исходных с

помощью точно указанных правил преобразования, придает ему необходимую строгость и точность.

◆ Она служит основой для процессов алгоритмизации и программирования вычислительных устройств, а тем самым и компьютеризации не только научно-технического, но и других форм знания.

При формализации рассуждения об объектах переносятся в плоскость оперирования со знаками (формулами). Отношения знаков заменяют собой высказывания о свойствах и отношениях предметов.

Таким путем создается обобщенная знаковая модель некоторой предметной области, позволяющая обнаружить структуру различных явлений и процессов при отвлечении от качественных, содержательных характеристик последних.

Главное в процессе формализации состоит в том, что над формулами искусственных языков можно производить операции, получать из них новые формулы и соотношения.

Тем самым операции с мыслями о предметах заменяются действиями со знаками и символами. Формализация в этом смысле представляет собой логический метод уточнения содержания мысли посредством уточнения ее логической формы. Но она не имеет ничего общего с абсолютизацией логической формы по отношению к содержанию.

Формализация, таким образом, есть обобщение форм различных по содержанию процессов, абстрагирование этих форм от их содержания. Она уточняет содержание путем выявления его формы и может осуществляться с разной степенью полноты.

**3.2 Аксиоматический метод** — один из способов дедуктивного построения научных теорий, при котором:

а) формулируется система основных терминов науки (например, в геометрии Эвклида — это понятия точки, прямой, угла, плоскости и др.);

б) из этих терминов образуется некоторое множество аксиом (постулатов) — положений, не требующих доказательств и являющихся

исходными, из которых выводятся все другие утверждения данной теории по определенным правилам (например, в геометрии Эвклида: "через две точки можно провести только одну прямую"; "целое больше части");

в) формулируется система правил вывода, позволяющая преобразовывать исходные положения и переходить от одних положений к другим, а также вводить новые термины (понятия) в теорию;

г) осуществляется преобразование постулатов по правилам, дающим возможность из ограниченного числа аксиом получать множество доказуемых положений — теорем.

Таким образом, для вывода теорем из аксиом (и вообще одних формул из других) формулируются специальные правила вывода.

Все понятия теории (обычно это дедуктивные), кроме первоначальных, вводятся посредством определений, выражающих их через ранее введенные понятия.

Следовательно, доказательство в аксиоматическом методе — это некоторая последовательность формул, каждая из которых либо есть аксиома, либо получается из предыдущих формул по какому-либо правилу вывода.

Аксиоматический метод — лишь один, из методов построения научного знания. Он имеет ограниченное применение, поскольку требует высокого уровня развития аксиоматизируемой содержательной теории.

**3.3 Гипотетико - дедуктивный метод.** Его сущность заключается в создании системы дедуктивно связанных между собой гипотез, из которых в конечном счете выводятся утверждения об эмпирических фактах.

Этот метод тем самым основан на выведении (дедукции) заключений из гипотез и других посылок, истинное значение которых неизвестно. Поэтому заключения тут носят вероятностный характер.

Такой характер заключения связан еще и с тем, что в формировании гипотезы участвует и догадка, и интуиция, и воображение, и индуктивное обобщение, не говоря уже об опыте, квалификации и таланте ученого. А все эти

факторы почти не поддаются строго логическому анализу.

Исходные понятия: гипотеза (предположение) — положение, выдвигаемое в начале предварительного условного объяснения некоторого явления или группы явлений; предположение о существовании некоторого явления. Истинность такого допущения неопределенна, оно проблематично.

Дедукция (выведение): а) в самом общем смысле — это переход в процессе познания от общего к частному (единичному), выведение последнего из первого; б) в специальном смысле — процесс логического вывода, т. е. перехода по определенным правилам логики от некоторых данных предположений (посылок) к их следствиям (заключениям).

Общая структура гипотетико-дедуктивного метода (или метода гипотез):

- ◆ Ознакомление с фактическим материалом, требующим теоретического объяснения, и попытка такового с помощью уже существующих теорий и законов. Если нет, то:

- ◆ Выдвижение догадки (предположения) о причинах и закономерностях данных явлений с помощью многих логических приемов.

- ◆ Оценка серьезности предположений и отбор из множества догадок наиболее вероятной.

При этом гипотеза проверяется на: а) логическую непротиворечивость; б) совместимость с фундаментальными теоретическими принципами данной науки (например, с законом сохранения и превращения энергии).

Однако следует иметь в виду, что в периоды научных революций рушатся именно фундаментальные принципы и возникают "сумасшедшие идеи", не выводимые из этих принципов.

- ◆ Выведение из гипотезы (обычно дедуктивным путем) следствий с уточнением ее содержания.

- ◆ Экспериментальная проверка выведенных из гипотезы следствий. Тут гипотеза или получает экспериментальное подтверждение, или опровергается. Однако подтверждение не гарантирует ее истинности в целом (или ложности).

С логической точки зрения гипотетико-дедуктивный метод представляет

собой иерархию гипотез, степень абстрактности и общности которых увеличивается по мере удаления от эмпирического базиса.

На самом верху располагаются гипотезы, имеющие наиболее общий характер, и поэтому обладающие наибольшей логической силой. Из них как посылок выводятся гипотезы более низкого уровня. На самом низшем уровне находятся гипотезы, которые можно сопоставить с эмпирической действительностью.

Разновидностью гипотетико-дедуктивного метода можно считать математическую гипотезу, где в качестве гипотез выступают некоторые уравнения, представляющие модификацию ранее известных и проверенных соотношений. Изменяя эти соотношения, составляют новое уравнение, выражающее гипотезу, которая относится к неисследованным явлениям.

Гипотетико-дедуктивный метод является не столько методом открытия, сколько способом построения и обоснования научного знания, поскольку он показывает, каким именно путем можно прийти к новой гипотезе. Уже на ранних этапах развития науки этот метод особенно широко использовался Галилеем и Ньютоном.

#### **4. Применение теории массового обслуживания в теоретических исследованиях**

Во многих случаях необходимо исследовать не только детерминированные, но и случайные, вероятностные (стохастические) процессы. Обычно технологические процессы выполняются в условиях непрерывно меняющейся обстановки: вынужденные простои машин; неравномерная работа транспорта; непрерывное изменение внешних (например, метеорологических) факторов и т.д. Те или иные события могут произойти или не произойти. В связи с этим приходится анализировать случайные, вероятностные или стохастические связи, в которых каждому аргументу соответствует множество значений функции. Наблюдения показали, что, несмотря на случайный характер связи, рассеивание

имеет вполне определенные закономерности. Для таких статистических законов теория вероятностей позволяет представить исход не одного какого-либо события, а средний результат случайных событий и тем точнее, чем больше число анализируемых явлений. Это связано с тем, что, несмотря на случайный характер событий, они подчиняются определенным закономерностям, рассматриваемым в теории вероятностей.

При работе автомобильного транспорта роль случайных факторов весьма велика. Изменение погодных условий влияет на скорость движения подвижного состава. От случайных факторов зависят возврат автомобилей с линии по технической неисправности, расход запасных частей за определенный период времени. Число водителей, не вышедших на работу по болезни, также является случайной величиной. Таким образом, многие транспортные процессы, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава зависят от случайных явлений, которые вызываются различными факторами. Если знать закономерности появления случайных явлений, то станет возможным учитывать их в плановых расчетах и тем самым значительно повышать их точность.

Наукой, которая занимается изучением закономерностей в случайных событиях, является теория вероятностей.

Теория массового обслуживания, являясь одним из разделов теории вероятностей, в последние годы получила большое развитие и выделилась в самостоятельный раздел математики.

Стимулом к развитию теории массового обслуживания послужили попытки предсказывать случайно изменяющиеся потребности по результатам наблюдений. Теория массового обслуживания занимается изучением таких процессов, в которых возникают очереди на обслуживание. Причиной возникновения очередей являются случайно изменяющиеся потребности в обслуживании и (или) колебания времени, затрачиваемого на удовлетворение отдельной заявки на обслуживание. Общую модель системы массового обслуживания состоит из обслуживаемой и обслуживающей систем. Обслуживаемая система включает совокупность источников требований и

входящего потока требований.

Требование — каждый отдельный запрос на выполнение какой-либо работы (на производство услуги).

Источник требования — объект (человек, механизм и т. д.), который может послать в обслуживающую систему одновременно только одно требование.

Возможный носитель требования. Например, автомобиль или агрегат, который может выйти из строя, житель города или группа жителей — это источники требований. А заявка на ремонт, запасную часть, свободное такси — носитель требований, соответствующих указанным выше источникам. Требование и его носитель часто отождествляются. Требования, поступающие от всех источников в обслуживающую систему, образуют поток, называемый входящим потоком требований.

Обслуживающая система состоит из накопителя и механизма обслуживания. Требования поступают в накопитель, где ожидают начала обслуживания, если есть очередь, или сразу в механизм обслуживания.

Обслуживанием считается удовлетворение поступившего запроса на выполнение услуги. Механизм обслуживания состоит из нескольких обслуживающих аппаратов. Обслуживающий аппарат — это часть механизма обслуживания, которая способна удовлетворить одновременно только одно требование (ремонтный рабочий или бригада, кран, экскаватор, пост мойки и т. д.). Если обслуживание состоит из ряда последовательных операций, каждая из которых выполняется отдельно обслуживающим аппаратом, то такое объединение аппаратов называют каналом обслуживания, а саму систему — многофазовой. После окончания обслуживания требования покидают систему, образуя выходящий поток требований.

В качестве примера системы массового обслуживания рассматривается организация погрузки на крупном предприятии — грузоотправителе. В такой системе входящий поток требований образуют автомобили, прибывающие на предприятие в какие-то случайные моменты времени. Обслуживанием является погрузка грузов в автомобили и выполнение ряда сопутствующих ей операций,

например, проверка автомобилей при въезде на территорию предприятия, взвешивание, оформление документов и т. д. Обслуживание в этом случае является многофазовым. Требуется проанализировать работу данной системы.

Проводя соответствующие наблюдения, можно установить закон распределения входящего потока требований, закон распределения времени обслуживания на каждой фазе, время ожидания автомобиля в очереди, время простоя обслуживающих аппаратов и другие характеристики. Затем можно оценить, во сколько обходятся потери от ожидания в очереди автомобилей плюс потери от простоя аппаратов и обслуживающего персонала. Если полученная сумма окажется достаточно большой, то следует изменить организацию погрузочных работ, например, увеличить число постов погрузки или взвешивания, заменить подвижной состав, изменить порядок погрузки, увеличить сменность работы и т. д.

Теория массового обслуживания позволяет определить характер функционирования системы массового обслуживания по характеристикам отдельных ее частей (совокупность требований «входящий поток», «накопитель», «механизм обслуживания», «выходящий поток»).

Для оценки работы обслуживающей системы можно применить также «Метод проб и ошибок». Например, оборудуется еще один пост погрузки, а затем в течение некоторого времени проводится наблюдение за работой модифицированной системы и определяются новые характеристики ее функционирования. Однако этот метод плох тем, что сначала приходится затрачивать время и средства, а затем уже определять, насколько эффективны были эти затраты. С другой стороны, если возможностей модификации несколько, то какую из них следует выбрать для эксперимента, чтобы получить наилучший результат. Ответ на этот вопрос можно получить с помощью теории массового обслуживания.

Разумеется, для применения теории массового обслуживания также нужно изучать и анализировать фактические данные. Но при этом приходится рассматривать не систему в целом, а каждую составную часть в отдельности, что

намного проще. Такой анализ можно выполнить до того, как обслуживающая система модифицирована. В этом и заключается практическая цель применения теории: возможность предсказать поведение системы до того, как такая система создана, т. е. еще на стадии ее проектирования.

Теперь можно сформулировать предмет теории массового обслуживания и цели, которые она преследует.

Предметом теории массового обслуживания является количественная сторона процессов, связанных с массовым обслуживанием.

Целью теории является разработка математических методов для отыскания основных характеристик процессов массового обслуживания для оценки качества функционирования обслуживающей системы.

В зависимости от количества источников требований ее системы массового обслуживания делятся на две группы: замкнутые с ограниченным числом источников, например система экскаватор—самосвалы при вывозе грунта, и разомкнутые с неограниченным, вернее очень большим, числом источников, например система станция технического обслуживания — владельцы индивидуальных автомобилей. Большое значение для решения задач массового обслуживания имеют законы распределения входящего потока требований и времени обслуживания.

В соответствии с поведением требований все системы можно разделить на: системы с отказами, в которых требование, заставшее все обслуживающие аппараты занятыми, получает отказ в обслуживании и теряется (например, в системе автоматическая телефонная станция — клиенты — отказ, если в момент поступления вызова занята нужная линия связи);

системы с ожиданиями: требование ждет начала обслуживания, например автомобиль ожидает погрузки;

смешанные системы, когда часть требований покидает накопитель или вообще не присоединяется к очереди в зависимости от ее длины и времени ожидания; например, часть автомобилей может уехать с автозаправочной станции, если велика очередь на заправку.

## **5. Системный анализ**

Под системным анализом понимают совокупность приемов и методов для изучения сложных объектов — систем, представляющих собой сложную совокупность взаимодействующих между собой элементов. Взаимодействие элементов системы характеризуется прямыми и обратными связями.

Главными задачами системного подхода являются исследования этих связей, установление закономерностей, присущих отдельным типам систем и разработка на этой основе определенных методов их описания и изучения.

Системой называют совокупность (множество элементов), любым способом выделенных, реальных или воображаемых объектов. Эта совокупность является системой, если: 1) заданы связи, существующие между этими объектами; 2) каждый из элементов внутри системы считается неделимым; 3) с окружающей средой система взаимодействует как единое целое; 4) при изменении во времени между объектами системы в разные моменты времени можно провести однозначное соответствие. Таким образом, систему можно рассматривать как целостное множество взаимосвязанных элементов.

Целостность системы рассматривают с позиции метода её исследования. При использовании системного подхода внимание направляют на структуру объекта (системы) и на свойства его частей, проявляющихся в их взаимосвязи. Связи между частями системы могут быть разделены на внутренние (взаимодействие между частями) и внешние (взаимодействие между системой и средой). Системы разделяют на физические и абстрактные. Физические состоят из искусственных и естественных объектов (структурных составляющих). Абстрактные системы могут существовать только мысленно и их представляют символами.

Окончательной целью системного исследования является создание (математической, графической, в виде "дерева цели" и т.д.) модели изучаемой системы. Системы могут быть централизованными, когда одна из подсистем играет решающую роль и децентрализованными, когда все подсистемы имеют примерно одинаковое влияние на состояние системы.

Системный анализ складывается из четырех этапов.

Первый этап заключается в постановке задачи: определяют объект, цели и задачи исследования, а также критерии для изучения объекта и управления им. Это важный этап системного анализа, поэтому его выполняет наиболее опытный исследователь. Неправильная, неполная постановка целей может свести на нет результаты всего последующего анализа.

Во время второго этапа очерчивают границы изучаемой системы и определяют ее структуру. Прежде всего, все объекты и процессы, имеющие отношение к поставленной цели, разбивают на два класса — собственно изучаемую систему и внешнюю среду. Различают замкнутые и открытые системы. При исследовании замкнутых систем влиянием внешней среды на их поведение пренебрегают. Затем выделяют отдельные составные части системы — ее элементы, устанавливают взаимодействие между ними и внешней средой.

Следует отметить, что в последнее время все большее внимание технике привлекают замкнутые системы, которые описывают закрытые технологические циклы, например так называемую «безотходную технологию». Такие технологические процессы перспективны не только с позиций экономики, они также обусловлены требованиями экологии. В настоящее время утверждается принцип - „чем меньше отходов, тем выше уровень производства”.

Третий, важнейший этап системного анализа заключается в составлении математической модели исследуемой системы. Вначале производят параметризацию системы, описывают выделенные элементы системы и элементарные воздействия на нее с помощью тех или иных параметров. При этом различают параметры, характеризующие непрерывные и дискретные, детерминированные и вероятностные процессы. В зависимости от особенностей процессов используют тот или иной математический аппарат.

Важным этапом системного анализа является четвертый. В это время анализируют полученную математическую модель, находят ее экстремальные условия в целях оптимизации процессов и управления системами и формулируют выводы.

Оптимизация заключается в нахождении оптимума рассматриваемой функции (математической модели исследуемой системы, процесса) и соответственно оптимальных условий поведения данной системы или протекания данного процесса. Оценку оптимизации производят по критерию оптимизации, принимающему в этом случае экстремальные значения (минимум, максимум). Сложность выбора надлежащего критерия состоит в том, что на практике в задачах оптимизации и управления имеют дело со многими критериями, которые часто бывают противоречивыми. Математически правильная постановка задачи оптимизации предполагает наличие только одного критерия. Наиболее часто выбирают какой-либо один критерий, а для других устанавливают пороговые предельно-допустимые значения.

## **Тема №4 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

(≈6 часов)

### **1. Моделирование как метод научного познания**

В настоящее время нельзя назвать область человеческой деятельности, в которой в той или иной степени не использовались бы методы моделирования. Особенно это относится к сфере управления различными системами, где основными являются процессы принятия решений на основе получаемой информации. Остановимся на философских аспектах моделирования, а точнее общей теории моделирования [35, 37, 43].

Методологическая основа моделирования. Все то, на что направлена человеческая деятельность, называется объектом (лат. *objectum* — предмет). Выработка методологии направлена на упорядочение получения и обработки информации об объектах, которые существуют вне нашего сознания и взаимодействуют между собой и внешней средой.

В научных исследованиях большую роль играют гипотезы, т. е. определенные предсказания, основывающиеся на небольшом количестве опытных данных, наблюдений, догадок. Быстрая и полная проверка выдвигаемых гипотез может быть проведена в ходе специально поставленного эксперимента. При формулировании и проверке правильности гипотез большое значение в качестве метода суждения имеет аналогия.

Аналогией называют суждение о каком-либо частном сходстве двух объектов, причем такое сходство может быть существенным и несущественным. Необходимо отметить, что понятия существенности и несущественности сходства или различия объектов условны и относительны. Существенность сходства (различия) зависит от уровня абстрагирования и в общем случае определяется конечной целью проводимого исследования. Современная научная гипотеза создается, как правило, по аналогии с проверенными на практике научными положениями. Таким образом, аналогия связывает гипотезу с экспериментом.

Гипотезы и аналогии, отражающие реальный, объективно существующий мир, должны обладать наглядностью или сводиться к удобным для исследования логическим схемам; такие логические схемы, упрощающие рассуждения и логические построения или позволяющие проводить эксперименты, уточняющие природу явлений, называются моделями. Другими словами, модель (лат. *modulus* — мера) — это объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.

Определение моделирования. Замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели называется моделированием. Таким образом, моделирование может быть определено как представление объекта моделью для получения информации об этом объекте путем проведения экспериментов с его моделью. Теория замещения одних объектов (оригиналов) другими объектами (моделями) и исследования свойств объектов на их моделях называется теорией моделирования [5, 36, 46].

Определяя гносеологическую роль теории моделирования, т. е. ее значение в процессе познания, необходимо прежде всего отвлечься от имеющегося в науке и технике многообразия моделей и выделить то общее, что присуще моделям различных по своей природе объектов реального мира. Это общее заключается в наличии некоторой структуры (статической или динамической, материальной или мысленной), которая подобна структуре данного объекта. В процессе изучения модель выступает в роли относительного самостоятельного квазиобъекта, позволяющего получить при исследовании некоторые знания о самом объекте.

Если результаты моделирования подтверждаются и могут служить основой для прогнозирования процессов, протекающих в исследуемых объектах, то говорят, что модель адекватна объекту. При этом адекватность модели зависит от цели моделирования и принятых критериев.

Обобщенно моделирование можно определить как метод опосредованного познания, при котором изучаемый объект-оригинал находится в некотором соответствии с другим объектом-моделью, причем модель способна в том или

ином отношении замещать оригинал на некоторых стадиях познавательного процесса. Стадии познания, на которых происходит такая замена, а также формы соответствия модели и оригинала могут быть различными:

1) моделирование как познавательный процесс, содержащий переработку информации, поступающей из внешней среды, о происходящих в ней явлениях, в результате чего в сознании появляются образы, соответствующие объектам;

2) моделирование, заключающееся в построении некоторой системы-модели (второй системы), связанной определенными соотношениями подобия с системой-оригиналом (первой системой), причем в этом случае отображение одной системы в другую является средством выявления зависимостей между двумя системами, отраженными в соотношениях подобия, а не результатом непосредственного изучения поступающей информации.

Следует отметить, что с точки зрения философии моделирование — эффективное средство познания природы. Процесс моделирования предполагает наличие объекта исследования; исследователя, перед которым поставлена конкретная задача; модели, создаваемой для получения информации об объекте и необходимой для решения поставленной задачи. Причем по отношению к модели исследователь является, по сути дела, экспериментатором, только в данном случае эксперимент проводится не с реальным объектом, а с его моделью. Такой эксперимент для инженера есть инструмент непосредственного решения организационно-технических задач.

Надо иметь в виду, что любой эксперимент может иметь существенное значение в конкретной области науки только при специальной его обработке и обобщении. Единичный эксперимент никогда не может быть решающим для подтверждения гипотезы, проверки теории. Поэтому инженеры (исследователи и практики) должны быть знакомы с элементами современной методологии теории познания и, в частности, не должны забывать основного положения материалистической философии, что именно экспериментальное исследование, опыт, практика являются критерием истины.

## 2. Этапы моделирования

До сих пор не существует универсального алгоритма для построения любых моделей. Тем не менее анализ накопленной информации по этому вопросу разрешает проявить определенные общие принципы и положения. Существует общая логика построения моделей, но каждая конкретная модель требует для своего построения индивидуального подхода.

Моделирование начинается с появления потребности изменить в лучшую сторону ситуацию в определенной области. Осмысливание и конкретизация проблемы приводит к формулированию цели или системы целей как желательного результата будущей деятельности по решению проблемы.

Поставленная цель соотносится с реальными возможностями ее достижения, т.е. с ресурсами, которые могут быть использованы для решения данной проблемы. Сопоставление целей с ресурсами сокращает количество целей и разрешает осуществить формулирование задачи, которая содержит и объект моделирования.

Важнейшим моментом моделирования являются определения границ объекта. Границы объекта очерчиваются областью значимого взаимодействия со средой. Практически эту область определяют на основе таких правил:

- границы области должны охватывать те элементы среды, влияние которых на исследуемый объект не равняется нулю;
- за пределами области значимого взаимодействия действие исследуемого объекта на среду должны стремиться к нулю.

Общее рассмотрение задачи и объекта моделирования разрешает определить необходимые характеристики модели и требования к ее свойствам.

Существенным в разработке моделей есть отбор факторов, которые определяют объект исследования и его состояние. Если к началу исследования отсутствуют любые теоретические проработки, тогда объект исследования рассматривается как «черный ящик». В этом случае при отборе факторов придерживаются некоторых правил.

Факторы должны быть определены операционно. Это эквивалентно указанию

способа установления любого возможного значения фактора с помощью ручки настройки соответствующего регулятора. Каждый фактор должен иметь область определения. Последнюю устанавливают принципиальными и техническими ограничениями.

Примером принципиального ограничения может быть абсолютный нуль температуры в обычных термодинамических системах. Примером технического ограничения может быть температура плавления материала, из которого изготавливается модель объекта.

К точности фиксирования значений факторов не предъявляют особых требований. Важно только, чтобы она была известная. Но, чем выше точность, тем быстрее будут получены результаты с заданной достоверностью. Следует указать на две важнейших требования, которые предъявляют к совокупности факторов. Это требование отсутствия корреляции между любыми двумя факторами и требование совместимости факторов. Требование некоррелированности не означает, что между факторами не должны быть никакой связи. Довольно, чтобы эта связь не была линейной. Несовместимость факторов возникает тогда, когда некоторые комбинации их значений не могут быть осуществлены. Может, например, оказаться, что некоторая концентрация веществ приводит при их смещении к взрыву.

Таким образом, факторы должны быть *определены операционно, для них указывают область определения, точность измерения и поддержки. Кроме того они должны быть некоррелированными и совместными.*

Если возникает необходимость изучить в статической форме динамические особенности объекта исследования, используют сложные факторы - критерии подобия.

При составлении списка факторов следует учесть все возможные факторы, как бы большое не было их число. Лучше включить несколько лишних несущественных факторов, чем пропустить один существенный. Дальнейший отбор факторов осуществляют экспертным методом или по результатам предыдущего поискового эксперимента.

Процедура отбора факторов экспертным методом сводится к следующему: широкому кругу специалистов, которые работают в области исследования, предлагают расположить факторы в порядке убывания степени их влияния на исходные характеристики объекта, проранжировать факторы. Каждый эксперт может включать дополнительные факторы, если список, по его мнению, неполный. Результаты опрашивания представляют в виде матрицы и диаграммы рангов. Матрицу рангов используют для вычисления коэффициента конкордации, которая характеризует степень согласованности мыслей экспертов. Коэффициент конкордации рассчитывают за формулой

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)},$$

где  $W$  — коэффициент конкордации;  $S$  — сумма квадратов отклонений суммы рангов по каждому фактору от средней суммы;  $m$  — число экспертов;  $n$  — число факторов, которые оценивают.

Часто эксперты не могут указать порядок прохождения для двух или нескольких факторов, которые стоят рядом. В таком случае им приписывают тот самый номер, а при вычислениях вводят так называемые дроби. ранги. Пусть, например, эксперт не может отдать предпочтение второму и третьему факторам. Тогда каждому из них предоставляют ранг 2,5. Коэффициент конкордации вычисляют за формулой

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(n^3 - n) - m \sum_i T_i},$$

де  $T_i = \frac{1}{12} \sum_j (t_j^3 - t_j)$ ;  $t_j$  —  $j$ -те число одинаковых рангов у  $i$ -тому ранжированні.

Коэффициент конкордации изменяется от 0 до 1. На диаграмме рангов факторы размещают в последовательности, которые соглашается с суммой рангов, полученных фактором (рис. 3.3).

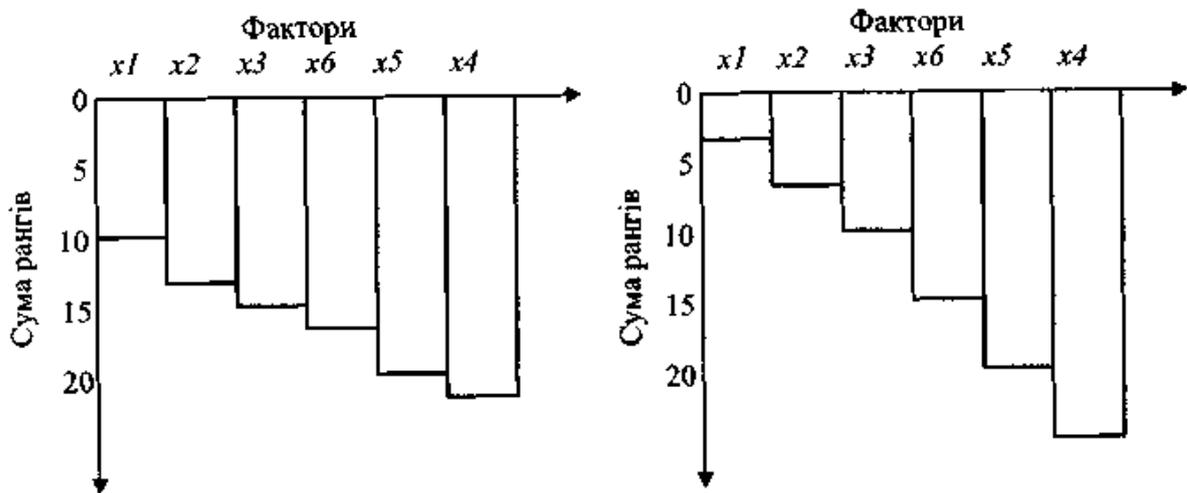


Рис. 3.3. Диаграммы рангов

На оси ординат диаграммы выносят сумму рангов, на оси абсцисс - факторы. На первое место ставят фактор, который получил наименьшую сумму рангов, на последнее - фактор с наибольшей суммой.

Из вида диаграммы рангов принимают решение об отсеивании факторов. Если суммы рангов факторов на диаграмме распределены равномерно, тогда все факторы должны быть включены в модель и дальнейший физический эксперимент. Если распределение неравномерное, тогда возникает вопрос: есть ли падения степени влияния эффектом быстрым или медленным, плавным? При быстром экспонентном падении степени влияния отсеивают факторы за точкой перегиба экспоненты. При плавном линейном падении степени влияния отсеивают факторы, сумма рангов которых резко отвергается от выравнивающей линии. При большом числе факторов, которые остались, их дальнейшее отсеивание осуществляют экспериментально (методом случайного баланса, дисперсионного анализа, факторного анализа и др.).

Данные об уточненной цели, а также исходная информация об объекте

моделирования служат для определения критерия и показателей качества будущей модели. Следующим этапом в построении модели есть содержательный анализ системы «задача - объект» и выбор способа формирования модели.

Наиболее общими правилами выбора есть такие:

- если объект не слишком сложный и его свойства могут быть выявлены на основе теоретических представлений, тогда применяют аналитический способ формирования модели;

- если объект сложный и мало изучен, тогда применяют способ экспериментального определения существенных для решения задачи свойств и характеристик объекта. Результаты такого экспериментального исследования подают в виде вероятно-статистической модели;

- если объект очень сложный, тогда применяют способ имитационного моделирования. Как модели-блоки имитационной модели используют аналитические или экспериментальные модели элементов объекта. Дальше формализованную модель оценивают соответственно с избранными раньше критериями и показателями, и или отбрасывают как недостаточно проделанную, или принимают. Если модель не принимают, тогда ее подвергают корректированию и построение модели начинают с начало из этапа, который подвергался корректированию на самой ранней стадии. Процесс корректирования циклический и заканчивается в случае соответствия модели принятым критериям. Таким образом, построение модели - не однократный акт, а процесс последовательных приближений. Итеративный характер построения модели объекта оказывается в наличии обратных связей на технологической схеме (рис. 3.2). Последним этапом моделирования является исследовательская проверка модели. В сформированных областях научного знания есть набор типичных аналитических моделей, которые могут использоваться для моделирования отдельных элементов или подсистем объекта. В основе большинства таких моделей-заготовок лежат законы сохранения вещества и энергии, а также балансовые соотношения, которые имеют место и за пределами этих законов.

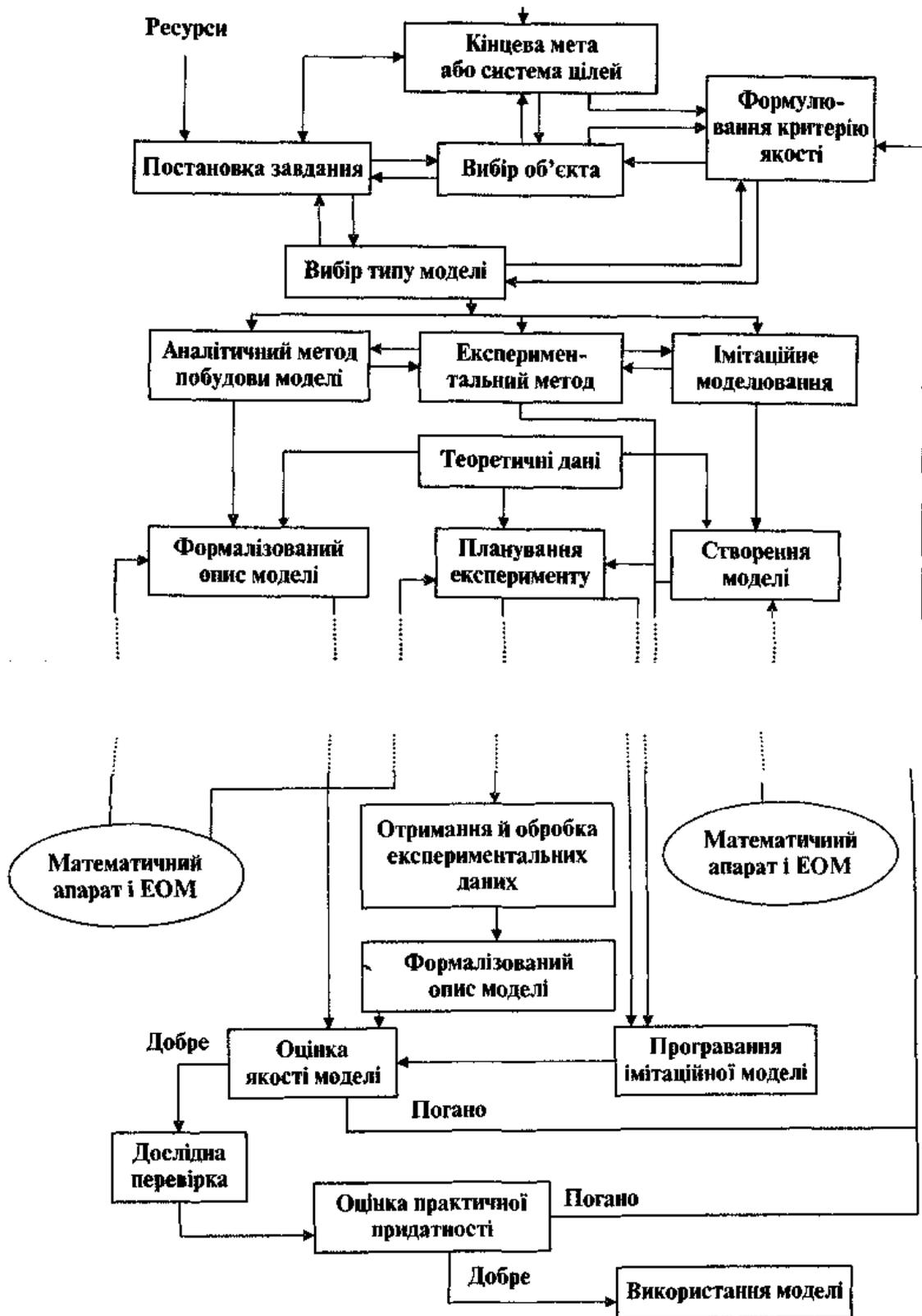


Рис.3.2. Технологічна схема створення моделі

Под абстрагированием здесь понимают выделение определяющих и отбрасывание второстепенных черт или характеристик объекта. В практике моделирования используют такие приемы абстрагирования:

1) низменность определенной сложной системы на совокупность более простых систем (декомпозиция);

2) переход к другой системе, например от системы с распределенными параметрами к системе из сосредоточенными или наоборот;

3) сокращение количества сменных (входных и исходных), например, за счет использования безразмерных комплексов;

4) снижение размерности задачи (от трехмерного до двухмерного и одномерного);

5) использование свойства детерминированности вместо стохастичности;

6) замена сменных константами;

7) идеализация свойств среды (идеальный газ, идеальная жидкость);

8) усреднение свойств по объему и направлением;

9) использование линейных зависимостей вместо нелинейных (линеаризация).

Это далеко не полный перечень приемов, которые используют исследователи во время построения моделей.

### **3. Математическое моделирование**

Решение практических задач математическими методами последовательно осуществляется путем математической формулировки задачи (разработки математической модели), выбора метода проведения исследования полученной математической модели, анализа полученного математического результата.

Математическая формулировка задачи обычно представляется в виде чисел, геометрических образов, функций, систем уравнений и т. п. Описание объекта (явления) может быть представлено с помощью непрерывной или дискретной, детерминированной или стохастической и другими математическими формами.

Математическая модель представляет собой систему математических соотношений — формул, функций, уравнений, систем уравнений, описывающих те или иные стороны изучаемого объекта, явления, процесса.

Математическое моделирование состоит из пяти этапов:

- 1) постановку задачи;
- 2) выбор типа (класса) математической модели;
- 3) выбор вида математической модели в определенном классе;
- 4) выбор структуры математической модели;
- 5) предварительный контроль модели.

Первым этапом математического моделирования является постановка задачи, определение объекта и целей исследования, задание критериев (признаков) изучения объектов и управления ими. Неправильная или неполная постановка задачи может свести на нет результаты всех последующих этапов.

Весьма важным на этом этапе является установление границ области влияния изучаемого объекта. Границы области влияния объекта определяются областью значимого взаимодействия с внешними объектами. Данная область может быть определена на основе следующих признаков: границы области охватывают те элементы, воздействие которых на исследуемый объект не равно нулю; за этими границами действие исследуемого объекта на внешние объекты стремится к нулю. Учет области влияния объекта при математическом моделировании позволяет включить в эту модель все существенные факторы и рассматривать моделируемую систему как замкнутую, т.е., с известной степенью приближения, независимую от внешней среды. Последнее значительно упрощает математическое исследование.

Вторым этапом моделирования является выбор типа математической модели. Выбор типа математической модели является важнейшим моментом, определяющим направление всего исследования. Обычно последовательно строится несколько моделей. Сравнение результатов их исследования с реальностью позволяет установить наилучшую из них.

На этапе выбора типа математической модели при помощи анализа данных поискового эксперимента устанавливаются: линейность или нелинейность, динамичность или статичность, стационарность или нестационарность, а также степень детерминированности исследуемого объекта или процесса.

Линейность устанавливается по характеру статической характеристики исследуемого объекта. Под статической характеристикой объекта понимается связь между величиной внешнего воздействия на объект (величиной входного сигнала) и максимальной величиной его реакции на внешнее воздействие (максимальной амплитудой выходной характеристики системы). Под выходной характеристикой системы понимается изменение выходного сигнала системы во времени. Если статическая характеристика исследуемого объекта оказывается линейной, моделирование этого объекта осуществляется с использованием линейных функций. Нелинейность статической характеристики и наличие запаздывания в реагировании объекта на внешнее воздействие являются яркими признаками нелинейности объекта. В этом случае для его моделирования должна быть принята нелинейная математическая модель.

Применение линейной математической модели значительно упрощает ее дальнейший анализ, поскольку такая модель позволяет пользоваться принципом суперпозиции. Принцип суперпозиции утверждает, что когда на линейную систему воздействуют несколько входных сигналов, то каждый из них фильтруется системой так, как будто никакие другие сигналы на нее не действуют. Общий выходной сигнал линейной системы по принципу суперпозиции образуется в результате суммирования ее реакции на каждый входной сигнал.

Установление динамичности или статичности осуществляется по поведению исследуемых показателей объекта во времени. Применительно к детерминированной системе можно говорить о статичности или динамичности по характеру ее выходной характеристики. Если среднее арифметическое значение выходного сигнала по разным отрезкам времени не выходит за допустимые пределы, определяемые точностью методики измерения исследуемого показателя,

то это свидетельствует о статичности объекта. Применительно к вероятностным системам их статичность устанавливается по изменчивости уровня ее относительной организации. Если изменчивость этого уровня не превышает допустимые пределы, то система определяется как статичная.

Весьма важным является выбор отрезков времени, на которых устанавливается статичность или динамичность объекта. Если объект на малых отрезках времени оказался статичным, то при увеличении этих отрезков результат не изменится. Если же статичность установлена для крупных отрезков времени, то при их уменьшении результат может измениться и статичность объекта может перейти в динамичность.

При выборе типа (класса) модели вероятностного объекта важно установление его стационарности. Обычно о стационарности или нестационарности вероятностных объектов судят по изменению во времени параметров законов распределения случайных величин. Чаще всего для этого используют среднее арифметическое случайной величины  $M(\tau_i)$  и среднее квадратическое отклонение случайных величин  $\sigma_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) от среднего арифметического и среднего квадратического отклонения во времени.

Из ряда средних арифметических  $M(\tau_1), M(\tau_2), \dots, M(\tau_i)$  выбирается минимальное значение  $M(\tau_{\min})$  и строятся интервалы с границами

$$M(\tau_{\min}) + \Delta x, \quad M(\tau_{\min}) - \Delta x,$$

где  $\Delta x$  — точность методики измерения исследуемого показателя.

Если значение  $M(\tau_i)$  укладывается в этот интервал, то объект определяется как стационарный по среднему арифметическому  $M(\tau)$ .

Аналогично определяется стационарность по среднему квадратическому отклонению.

Граничные значения  $a$  при установлении стационарности определяются по формулам

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{D_1}{n}}, \quad \sigma_2 = \sqrt{\frac{D_2}{n}},$$

или

$$D_1 = \left\{ \sum_{i=1}^n [x_i - (M(\tau_{\min}) + \Delta x)]^2 \right\} \frac{1}{n-1};$$

$$D_2 = \left\{ \sum_{i=1}^n [x_i - (M(\tau_{\min}) + \Delta x)]^2 \right\} \frac{1}{n-1},$$

где  $n$  — число наблюдений.

Если все значения  $\sigma$  укладываются в интервал  $\sigma_1 \dots \sigma_2$ , то объект считается стационарным. В противном случае объект определяется как вероятностный нестационарный, даже если величина среднего арифметического  $M$  не изменяется во времени.

Кроме вышеизложенного на установление типа (класса) математической модели может оказать существенное влияние необходимость определенного отображения гипотезы.

Учет целей и задач математического моделирования, характера гипотезы и анализа информационного массива позволяет конкретизировать модель, т. е. в выбранном типе (классе) моделей определить их вид. Выбор вида математической модели в данном их классе является третьим этапом математического моделирования. Данный этап связан с заданием областей определения исследуемых параметров объекта, т.е. значения, которые являются допустимыми, и установлением зависимостей между ними. Для количественных (числовых) параметров зависимости задаются в виде систем уравнений (алгебраических или дифференциальных), для качественных — используются табличные способы задания функций.

Если параметры описываются противоречивыми зависимостями, то определяются их весовые коэффициенты, выраженные в долях единицы, баллах. Тем самым противоречивые зависимости переводятся в вероятностные.

Для описания сложных объектов с большим количеством параметров возможно разбиение объекта на элементы (подсистемы), установление иерархии элементов и описание связей между ними на различных уровнях иерархии.

Особое место на этапе выбора вида математической модели занимает описание преобразования входных сигналов в выходные характеристики объекта.

Если на предыдущем этапе было установлено, что объект является статическим, то построение функциональной модели осуществляется при помощи алгебраических уравнений. При этом кроме простейших алгебраических зависимостей используются регрессионные модели и системы алгебраических уравнений.

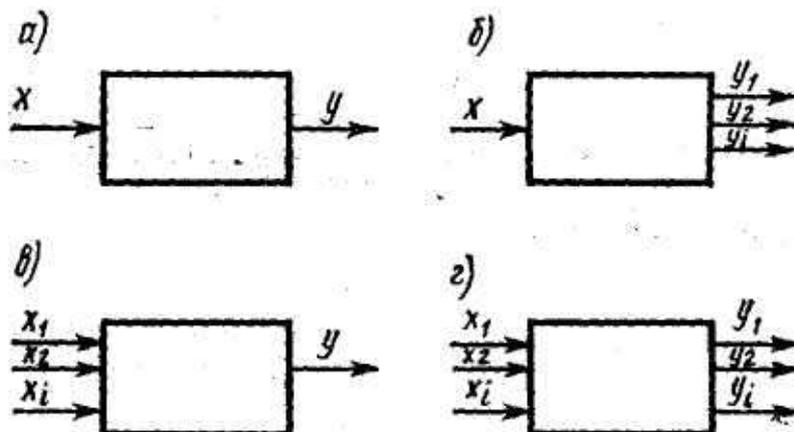
Если заранее известен характер изменения исследуемого показателя, то число возможных структур алгебраических моделей резко сокращается и предпочтение отдается той структуре, которая выражает наиболее общую закономерность или общеизвестный закон. Если характер изменения исследуемого показателя заранее неизвестен, то ставится поисковый эксперимент. Предпочтение отдается той математической формуле, которая дает наилучшее совпадение с данными поискового эксперимента.

Результаты поискового эксперимента и априорный информационный массив позволяют установить схему взаимодействия объекта с внешней средой по соотношению входных и выходных величин. В принципе возможно установление четырех схем взаимодействия:

одномерно-одномерная схема (рис. 4.3, а) — на объект воздействует только один фактор, а его поведение рассматривается по одному показателю (один выходной сигнал);

одномерно-многомерная схема (рис. 4.3, б) — на объект воздействует один фактор, а его поведение оценивается по нескольким показателям;

многомерно-одномерная схема (рис. 4.3, в) — на объект воздействует несколько факторов, а его поведение оценивается по одному показателю;



### Рис. 4.3. Схемы взаимодействия объекта с внешней средой

многомерно-многомерная схема (рис. 4.3, г) — на объект воздействует множество факторов и его поведение оценивается по множеству показателей.

При одномерно-одномерном взаимодействии статического стационарного детерминированного объекта с внешней средой постоянное входное воздействие связывается с постоянным выходным сигналом через постоянный коэффициент. Если же этот объект является нестационарным, то указанная связь описывается различными функциями  $y=f(x)$ . Чаще всего данная функция описывается полиномом.

В случае обнаружения многомерно-одномерной схемы статический стационарный детерминированный объект описывается следующей моделью:

при равнозначности внешних воздействий

$$y = a \sum_{i=1}^m x_i ;$$

при неравнозначности внешних воздействий

$$y = \sum_{i=1}^m a_i x_i ,$$

где  $a_i$  — постоянный коэффициент;  $m$  — число внешних воздействий (факторов).

Для статического нестационарного объекта (при той же схеме взаимодействия) часто используется модель в виде полного степенного полинома:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_1} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{m_2} \sum_{j=1}^{m_2} \sum_{v=1}^{m_2} a_{ijv} x_i x_j x_v + \dots,$$

где  $m_1, m_2$  — число парных и тройных сочетаний факторов ( $m_1 = C_m^2$ ;  $m_2 = C_m^3$ ).

При одномерно-многомерной схеме статический стационарный и нестационарный объект описывается аналогично одномерно-одномерной схеме взаимодействия статического стационарного объекта с внешней средой. При этом определяются отдельно математические модели входного воздействия с каждым

выходным сигналом. Выходные сигналы считаются независимыми.

Многомерно-многомерное взаимодействие сводится к многомерно-одномерному и математическая модель объекта принимается аналогичной изложенной выше. Для нестационарного одномерно-одномерного (многомерного) взаимодействия алгебраические функции могут представлять собой решение дифференциальных уравнений. При этом необходимо рассматривать производные математического ожидания по переменному фактору.

Выбор вида модели динамического объекта сводится к составлению дифференциальных уравнений. Модель динамического объекта может быть построена и в классе алгебраических функций. Однако такой подход является ограниченным, так как не позволяет в математическом описании учесть влияния входных воздействий на динамику выхода без существенной перестройки самих алгебраических функций (структуры и коэффициентов).

Поэтому по полноте модели отдается предпочтение математическим моделям, построенным в классе дифференциальных уравнений.

Если интересующие исследователя переменные являются только функциями времени, то для моделирования используются обыкновенные дифференциальные уравнения. Если же эти переменные являются также функциями пространственных координат, то для описания таких объектов недостаточно обыкновенных и следует пользоваться более сложными дифференциальными уравнениями в частных производных.

Существенным моментом математического моделирования есть выбор структуры модели (четвертый этап). Так, в классе алгебраических функций под структурой модели понимают вид и степень полинома. В классе дифференциальных уравнений - вид и порядок дифференциального уравнения.

Выбрать структуру математической модели в заданном классе помогает привлечение разных дополнительных критериев, которые отображают физические закономерности или специфику решаемой задачи.

Для выбора структуры математической модели в классе алгебраических функций по обыкновению используют два метода: полный перебор уравнений

разной структуры (метод А.Г. Ивахненко) синтез структуры математической модели, основанный на дисперсионном анализе.

В методе А.Г. Ивахненко перебор начинают из простейшей линейной модели от одного аргумента вида:

$$y = a_0 + a_1 x_i, \quad 1 \leq i \leq m. \quad (3.20)$$

Потом модель отыскивают в классе линейных уравнений для каждой двух факторов:

$$y = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_j, \quad 1 \leq i \leq m, \quad 1 \leq j \leq m. \quad (3.21)$$

Дальше вводят ковариации факторов (попарные произведения):

$$y = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_j + a_3 x_i x_j, \quad (3.22)$$
$$1 \leq i \leq m, \quad 1 \leq j \leq m, \quad i \neq j.$$

Следующим этапом осложнения модели есть введения в нее квадратов, кубов факторов и соответствующих ковариаций. Под сложностью математической модели в этом случае понимают число неизвестных коэффициентов  $a_0, a_1, \dots$ . На каждом шаге осложнения из набора моделей равной сложности выбирают наилучшую по критерию минимума средней квадратичной ошибки между теоретическими и экспериментальными значениями, а также минимума средней квадратичной ошибки относительно информационного массива проверочной последовательности. Для определения коэффициентов и характеристик модели на каждом шаге используют часть экспериментального массива, который образует «учебную» последовательность. Другие экспериментальные значения входят в «проверочную» последовательность.

Метод синтеза структуры алгебраической модели, основанный на

дисперсионном анализе, разрешает выбрать наилучшую с нескольких возможных моделей. По обыкновению выбор осуществляют из ограниченного количества моделей. Во время процессе выбора используют такие критерии (их комбинации): меньше всего число коэффициентов модели, совместное с умной ошибкой; простейшую математическую форму модели, совместную с умной ошибкой; умные предпосылки (структура модели выходит из определенного закона); минимальную сумму квадратов отклонений между предусмотренными характеристиками с помощью модели и их эмпирических значений; минимальную дисперсию, которая содержит дисперсию эксперимента и дисперсию математической модели; математическую модель минимальной сложности, которая удовлетворяет критерия Фишера.

Во время выбора структуры модели в классе дифференциальных уравнений записывают систему  $n$  однородных линейных дифференциальных уравнений первого порядка, в которой учитывают все связи между всеми сменными:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + \dots + a_{1n}y_n; \\ \frac{dy_n}{dt} &= a_{n1}y_1 + a_{n2}y_2 + \dots + a_{nn}y_n, \end{aligned} \quad (3.23)$$

где  $y_i$  — исследуемая переменная системы;  $a_{ij}$  — неизвестные параметры математической модели.

Структуру модели определяют значениями параметров: часть параметров может равнять нулю, а часть параметров иметь малые значения сравнительно с другими. Параметры, которые имеют нулевые и малые значения, отбрасывают, другие, что характеризуют существенные связи между сменными, оставляют. В результате выходит система дифференциальных уравнений, которая отображает структуру существенных связей между сменными. Поиск структуры модели системы в классе линейных дифференциальных уравнений является первым этапом. На втором этапе правые части системы уравнений записывают в виде

нелинейных алгебраических полиномов для существенных сменных, что остались. Осложнение степени и вида полинома проводят постепенно, и этот процесс происходит к удовлетворению определенного критерия согласованности математической модели и экспериментальных данных. Определение параметров,  $a_{ij}$  осуществляют способом решения системы линейных алгебраических уравнений.

Следует заметить, что в классе дифференциальных уравнений возможные два типа моделей:

1. Система с сосредоточенными параметрами. Это система, в которой неизвестные сменные есть функциями лишь одной независимой сменной. Поведение такой системы описывают обычными дифференциальными уравнениями.

2. Линейные и нелинейные системы. Если все функции, которые стоят в правой части уравнения линейные относительно своих аргументов, тогда система уравнений линейная. В другом случае их называют нелинейными:

$$\frac{dx}{dt} = Q(x(t), t), \quad (3.24)$$

Рассмотренные выше методы определения структуры моделей базируются на формальных критериях. Иногда задачи моделирования могут требовать использования неформальных критериев. Так, для функционального моделирования критериями определения структуры могут быть: критерий формы, которая разрешает связать динамику исходного показателя с дифференциальными уравнениями, решения которых могут иметь аналогичный вид; критерий минимальной математической сложности, которая разрешает выбрать минимальный порядок дифференциального уравнения.

За структурно-функционального моделирования эти критерии используют для выбора математических моделей подсистем, а связи между подсистемами определяют на основе дополнительных гипотез.

Процесс выбора математической модели объекта заканчивается ее предварительным контролем (пятый этап). При этом осуществляются следующие виды контроля: размерностей; порядков; характера зависимостей; экстремальных ситуаций; граничных условий; математической замкнутости; физического смысла; устойчивости модели.

Контроль размерностей сводится к проверке выполнения правила, согласно которому приравниваться и складываться могут только величины одинаковой размерности.

Контроль порядков направлен на упрощение модели. При этом определяются порядки складываемых величин и явно малозначительные слагаемые отбрасываются.

Контроль характера зависимостей сводится к проверке направления и скорости изменения одних величин при изменении других. Направления и скорость, вытекающие из математической модели, должны соответствовать физическому смыслу задачи.

Контроль экстремальных ситуаций сводится к проверке наглядного смысла решения при приближении параметров модели к нулю или бесконечности.

Контроль граничных условий состоит в том, что проверяется соответствие математической модели граничным условиям, вытекающим из смысла задачи. При этом проверяется, действительно ли граничные условия поставлены и учтены при построении искомой функции и что эта функция на самом деле удовлетворяет таким условиям.

Контроль математической замкнутости сводится к проверке того, что математическая модель дает однозначное решение.

Контроль физического смысла сводится к проверке физического содержания промежуточных соотношений, используемых при построении математической модели.

Контроль устойчивости модели состоит в проверке того, что варьирование исходных данных в рамках имеющихся данных о реальном объекте не приведет к существенному изменению решения.

#### 4. Математический аппарат для построения математической модели

Установление общих характеристик объекта позволяет выбрать математический аппарат, на базе которого строится математическая модель. Выбор математического аппарата может быть осуществлен в соответствии со схемой, представленной на рис. 4.2. Как видно из данной схемы, выбор математического аппарата не является однозначным и жестким.

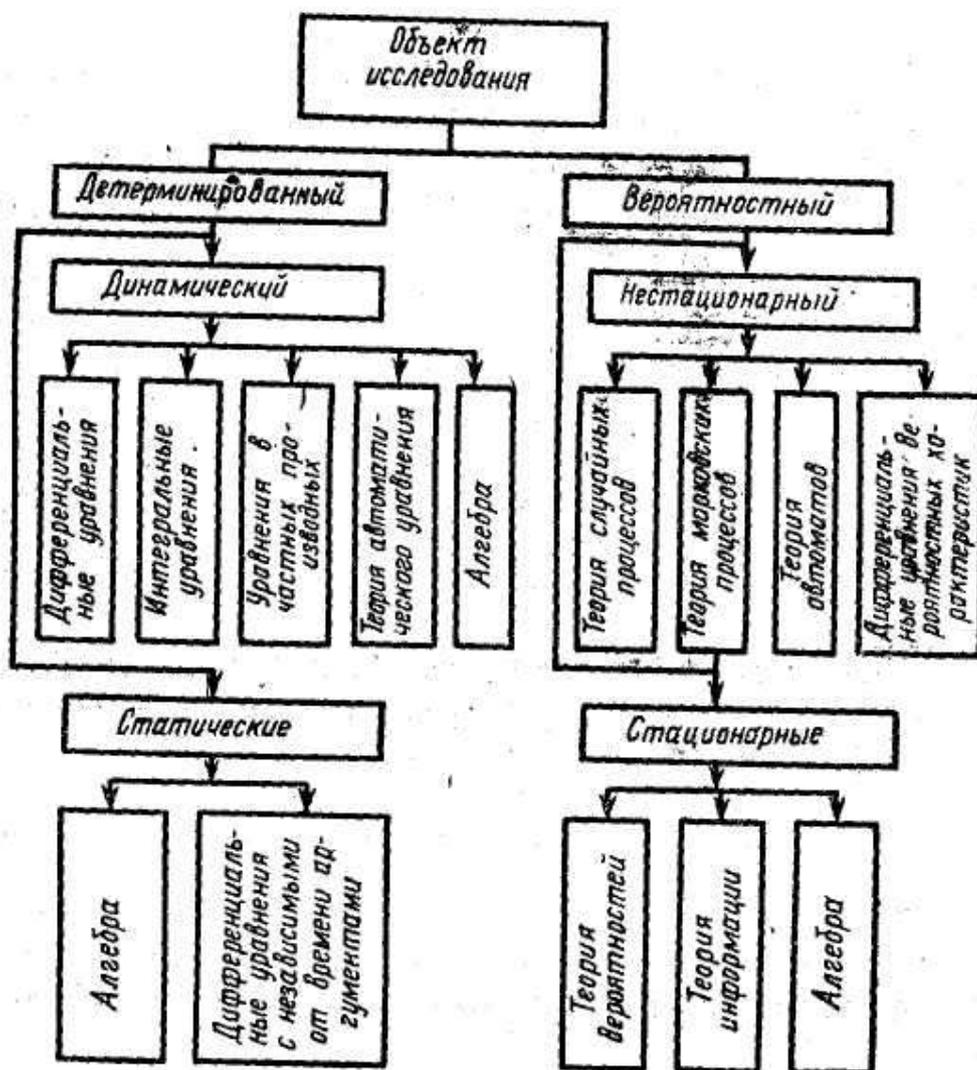


Рис. 4.2. Математический аппарат для построения математической модели

Так, для детерминированных объектов может использоваться аппарат линейной и нелинейной алгебры, теории дифференциальных и интегральных

уравнений, теории автоматического регулирования.

Адекватным математическим аппаратом для моделирования вероятностных объектов являются теория детерминированных и случайных автоматов с детерминированными и случайными средами, теория случайных процессов, теория марковских процессов, эвристическое программирование, методы теории информации, методы теории управления и оптимальные модели.

При описании квазидетерминированных (вероятностно-детерминированных) объектов может использоваться теория дифференциальных уравнений с коэффициентами, подчиняющимися определенным законам.

Цель и задачи, которые ставятся при математическом моделировании, играют немаловажную роль при выборе типа (класса) модели. Практические задачи требуют простого математического аппарата, а фундаментальные — более сложного, допускают прохождение иерархии математических моделей, начиная от чисто функциональных и кончая моделями, использующими твердо установленные закономерности и структурные параметры.

Не меньшее значение на выбор модели оказывает анализ информационного массива, полученного как результат аналитического обзора результатов Исследований других авторов или поискового эксперимента. Деление массива на зависимые и независимые факторы, на входные и выходные переменные, предварительный поиск взаимосвязи между различными данными выборки позволяет определить адекватный математический аппарат.

Анализ информационного массива позволяет установить непрерывность или дискретность исследуемого показателя и объекта в целом.

В непрерывных объектах все сигналы представляют собой непрерывные функции времени. В дискретных объектах все сигналы квантуются по времени и амплитуде. Если сигналы квантуются только по времени, т.е. представляются в виде импульсов с равной амплитудой, то такие объекты называют дискретно-непрерывными.

Установление непрерывности объекта позволяет использовать для его моделирования дифференциальные уравнения. В свою очередь, дискретность

объекта предопределяет использование для математического моделирования аппарата теории автоматов.

## **5. Имитационное моделирование**

Общепринятого определения имитационной модели нет. В.Н. Бусленко определяет имитационную модель как модель, в которой тем или другим способом имитируют случайные процессы. К. Шенон под имитационным моделированием понимает процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью понять обращение системы или оценить разные стратегии, которые обеспечивают функционирование данной системы.

Чаще всего *под имитационной моделью понимают программу, которая в процессе реализации ее на ЭВМ разрешает имитировать обращение реальной системы в разных условиях.*

Каждая имитационная модель включает комбинацию компонентов, параметров, переменных, функциональных зависимостей, ограничений и целевых функций. В общем виде имитационную модель описывают так:

$$E=f(x_i, y_i),$$

где  $E$ — результат действия системы;  $f$ — функциональная зависимость;  $x_i$  — переменные, которыми можно руководить;  $y_i$  — переменные, которыми руководить нельзя.

*Переменные модели* делятся на два вида: *экзогенной* *эндогенные*. Экзогенные - входные переменные, рожденные вне системы. Эндогенные - переменные состоянию, когда они характеризуют состояние или условия, реализованные в системе, или исходные переменные, когда они относятся к выходам системы.

Поведение переменных и параметров описывают с помощью функциональных зависимостей, которые по природе могут быть детерминированными или стохастичными. Детерминированные и стохастичные соотношения обычно выражают в форме математического уравнения, которое устанавливает взаимосвязь между эндогенными и экзогенными переменными.

Границы изменения значений переменных или интервал возможных значений случайной величины, устанавливаются с помощью ограничений. Ограничения могут выходить или из физической сущности самой системы, или назначаться исследователем.

**Параметры модели** выбирают к началу имитационного моделирования и не изменяют в процессе исследования поведения модели.

**Компоненты модели** — это все ее составные части, которые отвечают частям реальной системы.

**Целевая функция** (функция критерия) служит для отображения целей или задач системы и необходимых правил оценки их выполнения. В качестве целевых часто используют функции двух типов — **сохранение и приобретение**.

**Функции сохранения** связанные с сохранением каких-нибудь состояний (например, безопасности, комфорта) или поддержки каких-нибудь ресурсов (например, энергетических, материальных, финансовых).

**Функции приобретения** связанные с приобретением новых ресурсов или достижением некоторых состояний, к которым стремится система.

Применение имитационного моделирования есть целесообразным при выполнении каждой из условий:

- эксперименты с реальной системой являются невозможными в результате нарушения нормальной работы системы или при невозможности исследования альтернативных вариантов ее поведения;
- тяжело обеспечить поддержку тех самых условий при каждом повторении эксперимента;
- для получения статистически значимых результатов необходимы большие расходы времени и средств;
- не существует законченной математической постановки данной задачи и разработанных аналитических методов ее решения или математические методы настолько трудоемкие, что имитационная модель дает более простой способ решения задачи.

Конструирование имитационной модели начинают из построения статической

модели объекта. Такую модель представляют в виде логической блок-схемы, органограммы, технологической карты или технологической диаграммы.

Процесс перехода от блок-схемы до имитационной модели системы включает два этапа. Сначала модель системы представляют в виде диаграммы причинно-следственных связей и ориентированного графа, в вершинах которого указывают параметры модели, а направления дуг показывают, что изменение одного параметра вызывает изменение другого параметра. Дальше дуги графа нагружают функциональными зависимостями или входными действиями, под влиянием которых осуществляется переход с одной вершины графа к другой. Эта процедура превращает ориентированный граф в графоид конечного автомата. Теперь каждый блок имитационной модели и всю модель можно рассматривать как конечный детерминированный или стохастичный автомат.

Задавая правила переходов и взаимодействия автоматов, можно целиком описать поведение имитационной модели.

В процессе превращения блок-схемы в имитационную модель необходимо определить назначение модели, которые компоненты должны быть включены в ее состав, параметры и переменные, функциональные соотношения и др. В состав имитационной модели включают все компоненты системы, которые влияют как положительно, так и отрицательно на эффективность ее работы. Назначение компонента системы заключается в том, чтобы превращать входные сигналы в исходные. Принято различать три основных вида компоненты, которые составляют функциональные блоки сложных систем:

1) элементы преобразования, в которых один или несколько входных сигналы  $x$ , что обработанные некоторым заведомо заданным чином, превратятся в один или несколько исходных сигналы  $y$ , причем  $x \geq y$ .

2) элементы классификации, в которых один или несколько входных сигналов  $x$  распределяются или сортируются за двумя или несколькими разными выходами  $y$ , причем  $x \leq y$ .

3) элементы обратной связи, в которых входной сигнал  $x$  некоторым образом изменяется в зависимости от исходного сигнала  $y$ , т.е.  $x = f(y)$ , причем обратная связь может быть как положительная, так и отрицательный. Решение вопроса, которые

компоненты необходимо включать, а которые исключать, определяют принятым уровнем детализации или количеством переменных и параметры, которые входят в модель.

Дальше определяют функциональные связи между компонентами и переменными и задают значение параметров. При определении функциональных связи возникают прямые и обратные задачи. Если знают уравнение, которые описывают поведение динамической системы  $Q$ , тогда решением прямой задачи можно найти исходный сигнал системы на заданный входной сигнал:

$$\alpha:(x, Q) \rightarrow y.$$

Обратную задачу тогда представляют так: за заданной математической описью системы или компонента  $Q$  и известному отклику нужно найти входной сигнал  $x$ , что вызвал этот отклик:

$$\beta:(y, Q) \rightarrow x.$$

Если задана совокупности входных  $x$  и соответствующих исходных сигналы  $y$ , а необходимо найти математическую опись самого компонента или всей системы  $Q$ , то это тоже обратная задача, которая представляется в виде

$$\gamma:(x, y) \rightarrow Q.$$

Эта задача известная как задача идентификации, или структурного синтеза.

Полученные описи функциональных связей, поведения компонентов и системы в целом переводят на любой универсальный алгоритмический язык программирования, которые потом используют при проведении машинного эксперимента на ЭВМ.

В имитационных моделях могут воссоздаваться временные и пространственные закономерности функционирования систем.

Алгоритм процесса имитации может быть представлен в виде цепочки элементарных шагов? или действий:

1. *Определение системы.* Устанавливают границы системы, определяют ограничение на параметры, определяют переменные, устанавливают критерии оценки.

2. *Формирование модели.* В результате процессов упрощения и абстрагирования реальный объект или система заменяются некоторой логической схемой.

3. *Подготовка данных.* Отбирают и представляют в соответствующей форме те

исходные данные, которые есть наиболее существенными для реализации модели.

4. *Трансляция модели.* На соответствующем языке программирования составляют программу, которая разрешает имитировать динамические процессы системы, которая моделируется.

5. *Оценка адекватности.* По результатам, полученными после реализации программы на ЭВМ, делается итог о корректности выводов о реальной системе, полученных на основе модели.

6. *Стратегическое планирование.* Составление общего плана проведения экспериментов с моделью для получения необходимой информации о системе.

7. *Тактическое планирование.* Соответственно со стратегическим планом определяют способы проведения каждой серии эксперименты.

8. *Эксперимент.* Прогон модели на ЭВМ с целью получения ответов на поставленную задачу.

9. *Интерпретация.* За данными, полученными на модели, формируют итоги и выводы о деятельности реальной системы.

10. *Реализация.* Практическое использование модели и результатов моделирования.

11. *Документирование.* Регистрация хода осуществления проекта и его результатов, а также документирование процесса создания и использование модели.

Схема алгоритма процесса имитации представлена на рис. 3.11.

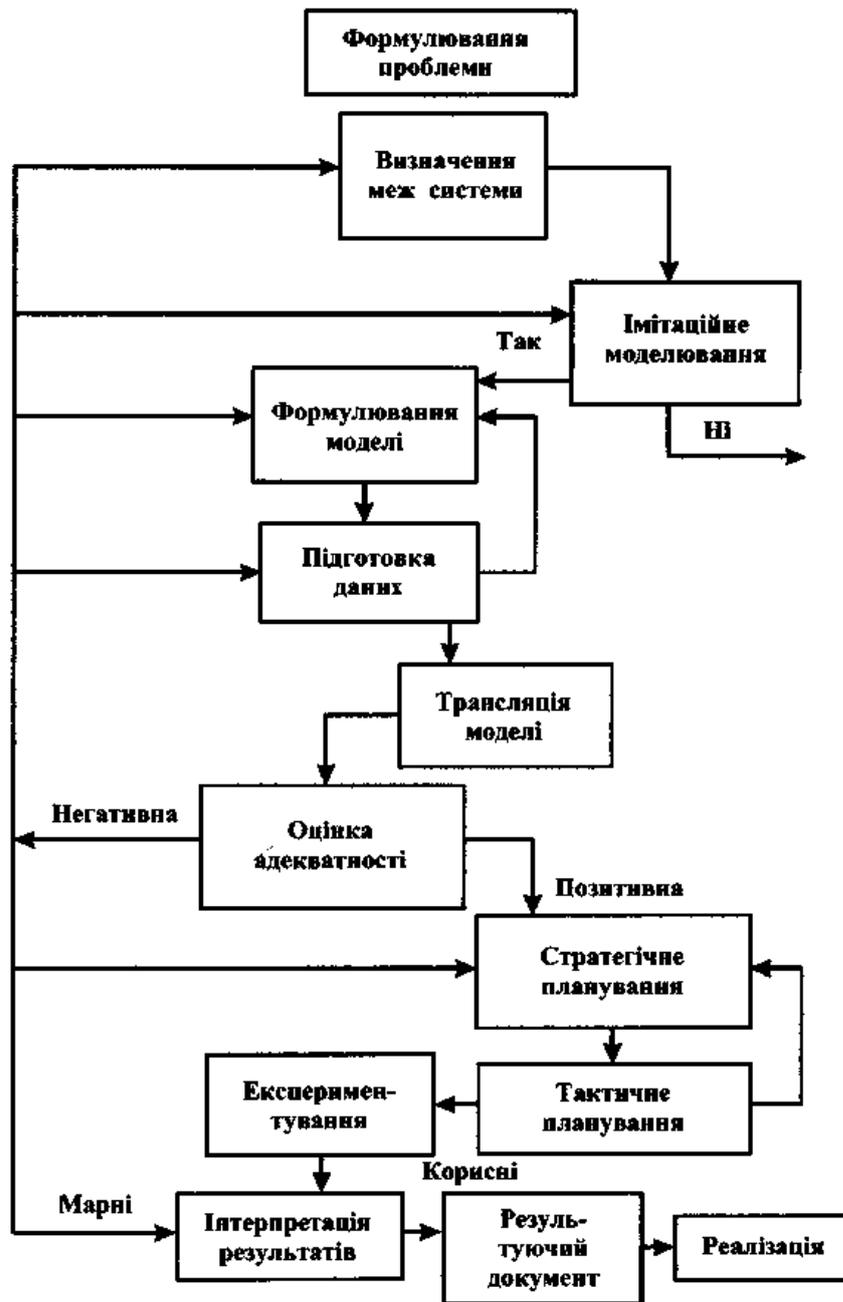


Рис. 3.11. Схема алгоритма процесу імітації

## 6. Вычислительный эксперимент

**Вычислительный эксперимент** — это новая современная технология и методология теоретических исследований. Основой вычислительного эксперимента является математическое моделирование, теоретической базой -

прикладная математика, а технической - могущественные электронные вычислительные машины. Впервые вычислительный эксперимент использовался для решения задач связанных с овладением ядерной энергии и освоением космического пространства. В дальнейшем сфера применения вычислительного эксперимента расширилась. Он стал применяться как средство решения сложных проблем оценки масштабов влияния человека на природу, динамики глобальных климатических процессов, экологических и астрофизических проблем, химии, биотехнологии и т.п.. Часто вычислительный эксперимент применяется в случае, если натурные эксперименты оказываются невозможными.

Технологический цикл вычислительного эксперимента составляется с пяти этапов.

На **первом этапе** строят физическую модель объекта исследования. Для этого проводят отбор и отсеивания факторов. Второстепенные факторы отбрасывают. Формулируют предположение, границы применимости модели. Модель описывают математическими сроками, по обыкновению, в виде дифференциальных или интегро-дифференциальных уравнений. Дальше осуществляют предыдущий контроль модели: контроль размерность и, порядков, характера зависимостей, экстремальных ситуаций, предельных условий, математической замкнутости, физического смысла и стойкости.

**Второй этап** вычислительного эксперимента связан с разработкой метода расчета сформулированной математической задачи, т.е. вычислительного алгоритма. Вычислительный алгоритм - это цепочку алгебраических формул, за которыми ведут вычисление, и логических условий, которые разрешают установить нужную последовательность применения этих формул. Теоретической базой построения вычислительных алгоритмов есть теория численных методов решения разных задач. Общая цель этой теории - построение эффективных вычислительных методов, которые разрешают получить решение поставленной задачи с заданной точностью за минимального количества действий, т.е. с минимальными расходами машинного времени. Расхода времени на вычисление особенно существенные для вычислительного эксперимента. Это связано с тем,

что каждый конкретный расчет проводят за фиксированных значений параметров. Поэтому приходится проводить значительное количество расчетов, которые отличаются значениями некоторых параметров.

Вычислительный алгоритм часто базируется на приближенных методах решения уравнений, которые описывают моделированный объект или процесс. Так, для решения систем алгебраических уравнений используют методы итераций и исключения (метод Гауса). Для решения трансцендентных алгебраических уравнений применяют графический метод, а также методы хорд, касательных и итераций.

Во время решения интегральных и дифференциальных уравнений широко используют численные методы интегрирования и дифференцирование: формула трапеций, метод Симпсона, интерполяционная формула и интерполяционный многочлен Ньютона. Решение исходной дифференциальной задачи, которая описывает определенный физический процесс, отыскивают в каждой точке пространственно-временной области. Во время построения решения численными методами вычислить его значение во всех точках области невозможно, так как количество этих точек неограниченна. В такой ситуации приходится ограничиваться вычислением решения в конечном числе точек области. их множество называют сеткой, а самые точки - узлами сетки. Число узлов определяют способом нахождения компромисса между требованиями представительности найденного решения и минимизации расходов времени на вычисление.

**Третий этап** вычислительного эксперимента — создание текста программы для реализации разработанного алгоритма на ЭВМ. Программы создают с помощью машинных и алгоритмических языков. Большие разветвленные программы превращают в пакеты прикладных программ (ППП). Эти пакеты состоят из функционального наполнения и системной части.

Функциональное наполнение - это набор отдельных подпрограмм, которые решают конкретные задачи. Эти задачи объединены общей направленностью.

Системная часть выполняет функции сервисного характера. Главное

назначение системной части ППП - обеспечение возможности сборника из отдельных подпрограмм полной программы, способной решать поставленную задачу. В системной части формируют язык задач, которая разрешает давать заказ на создание определенной программы по наличных подпрограммам.

Пакеты прикладных программ являются проблемно-ориентированными. Они совмещают широкую предметную область с относительной простотой, компактностью, удобством для использования.

**Четвертый этап** вычислительного эксперимента сводится к проведению расчетов на ЭВМ. Сначала выполняют тестовые расчеты, которые разрешают отыскать и исправить все ошибки и ошибки, которые возникли во время подготовке алгоритма и написание текста программы. Одновременно тестирует и математическую модель. Выясняют, насколько хорошо она описывает исследуемый класс явлений, в которой мере она адекватная реальности. Для этого проводят контрольные расчеты, за которыми есть довольно надежные измерения. По обыкновению эти измерения осуществляют в физическом эксперименте за воздержанных значений параметров математической модели, чтобы обрести уверенность в правильности предусмотренный, которые будут получены с ее помощью.

Дальше проводят собственно вычислительный эксперимент. При этом экспериментатор с помощью ЭВМ задает вопрос математической модели для условий, где физические эксперименты не проводились или они вообще невозможные. Ответ на заданный вопрос получают по результатам расчетов в виде определенной цифровой информации. Расчеты проводят в диалоговом режиме.

**Пятый этап** вычислительного эксперимента — предыдущая обработка результатов расчетов, их анализ и формулирования выводов. Результаты расчетов разрешают уточнить математическую модель, ее модифицируют, усложняют, что разрешает учесть выявленные в результатах предыдущих расчетов непривычные формы протекания исследуемого процесса. Дальше начинается новый цикл вычислительного эксперимента. Технологическую схему каждый цикл

представлен очерк. 3.5.

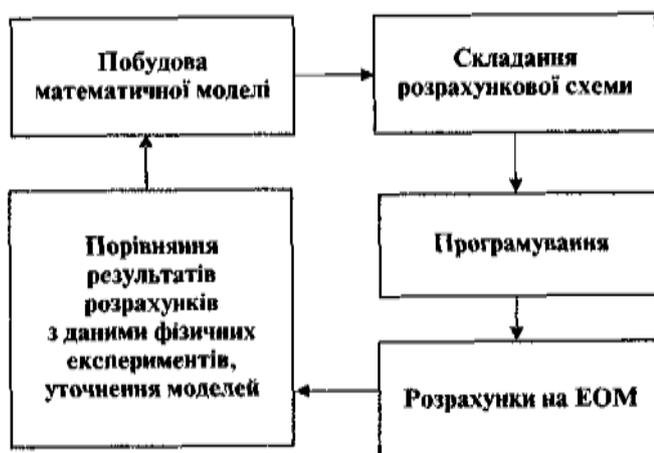


Рис. 3.5. Схема технологического цикла вычислительного эксперимента

После проведения нескольких циклов вычислений математическая модель приобретает завершённую форму. Определяют точность полученных данных и адекватность модели реальности. Требование соблюдения принципа равенства внутренней и внешней достоверности модели может привести к возможности ее упрощения. Кроме того, дальнейшее проведение полномасштабных расчетов может оказаться слишком дорогим. Это обстоятельство также стимулирует упрощение модели, построение своеобразных «инженерных формул», что разрешают получить необходимую информацию значительно более дешевым способом. В конце концов, упрощенная модель открывает широкие возможности оптимизации исследуемого режима или процесса по параметрам, количество которых может быть значительной.

Чаще всего модель упрощают способом ее линеаризации. Важное свойство линейных задач, которая облегчает их исследование и решения, заключается в том, что для них выполняется принцип суперпозиции. Соответственно с этим принципом, можно построить общее решение линейной задачи в виде суммы отдельных, простых, хорошо изученных решений.

## **Тема 5 ТРАНСПОРТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1. Задачи транспортных исследований**

Транспортные исследования - это совокупность видов деятельности, с помощью которых собирается информация о дорожном или другой вид транспорта. Его целью являются получения исходных данных для планирования, проектирование и модернизации дорог и сооружений, а также для проекта улучшения эксплуатационных режимов на существующих транспортных сетях с учетом безопасности, непрерывности, удобства, экономичности движения и его следствий для окружающей среды.

Для всех существующих на определенной территории видов транспорта должны быть решенные такие главные проблемы:

- а) лучшее использование транспортного пространства на исследуемой территории;
- б) улучшение непрерывности дорожного движения и безопасности всех его участников;
- в) модернизация существующих сетей отдельных видов транспорта;
- г) улучшение объектов дорожных сооружений и оборудование;
- д) развитие транспортной системы;
- е) организационные, эксплуатационные и экономические проблемы для достижения требований пунктов а) и б).

Соответственно функциональному назначению различают следующие урбанизованные пространства:

- большой территориальный комплекс (ВТК), что включает, например, территорию области или агломерации одного или нескольких районов;
- населенный пункт или структурную единицу планирования (СОП), что воображает собой, как правило, территорию города или другого населенного пункта разной величины;
- зону (З), что является частью СОП.

Город делится (рис. 2.1) на зоны и участки: центральные; жилые; промыслу; предназначенные для отдыха (рекреационные); смешанные.

За пределами города находятся принадлежащие к нему территории, где сосредоточены:

- городские составы;
- вредные производства и т.п.;
- часть сельскохозяйственных угодий для снабжения города (овощами, фруктами);
- зоны отдыха и т.п..

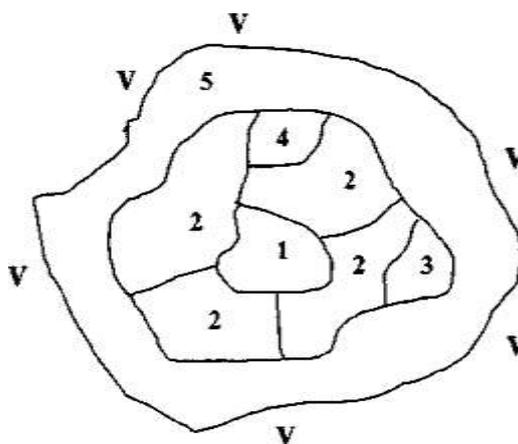


Рис. 2.1. Деление города на зоны:

1 - центр; 2 - жилая зона; 3 - рекреационная зона; 4 - промышленная зона; 5 - смешанная зона; V - принадлежащие к города территории

Поэтому для прилегающих территорий необходимо предусмотреть транспортное обслуживание, определить их границы и привязку к СОП, сопоставимые объемы движения в СОП и другой территории, на которые распространяются транспортные сети.

В СОП и на прилегающей территории с помощью разных видов транспорта, который есть на ней территории, могут быть реализованные следующие транспортные отношения (рис. 2.2):

- внутренне-зональные: центр (Ц) - центр (Ц);
- межзональные: центр (Ц) - город (М);
- целевые: окраины (ОБ) - город (М);

- исходные: город (М) - окраины (ОБ);
- транзитные: окраины (ОБ) - окраины (ОБ).

Исходные или целевые транспортные отношения могут быть названы и поворотными, если за исследуемый интервал времени транспортное средство возвращается на исходное место, откуда было начато движение.

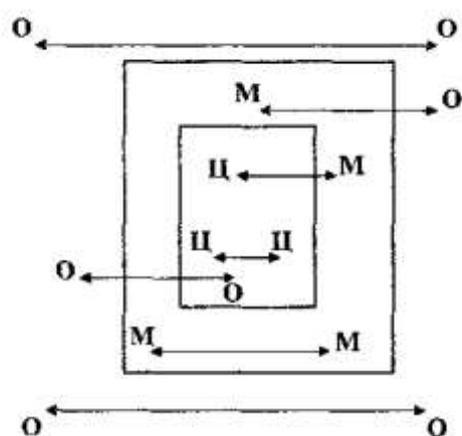


Рис. 2.2. Типы транспортных отношений на территории:

Ц - центр; М - город; ОБ - окраина

Основой для транспортного планирования на данной территории или СОП есть получения знания предыдущих и действительных:

- характеристик территории;
- значений структурных величин (число жителей, рабочих мест, степени моторизации, автомобилизации, подвижности жителей СОП (территории));
- характеристик отдельных видов транспорта, который есть на исследуемой территории;
- пропускной способности сооружений для отдельных видов транспорта;
- интенсивность и направленность транспортных потоков, городского общественного транспорта, пешеходов и велосипедистов;
- деления транспортировочных работ в действительное время;
- предпосылок развития исследуемой территории;

- других специфических характеристик.

Все данные характеристики о транспорте можно получить за один раз или больше на протяжении определенного времени. Одноразовое определение характеристики движения не обязательно должны предусмотреть все изменения транспорта во времени, так как перевозка людей индивидуальным автомобильным транспортом является стохастичным процессом, непредвиденным во времени и просторные и часто в достаточной мере зависимым от стиля жизни населения, в то время как перевозки грузов подчиняются определенным сезонным колебанием и имеют свою регулярность. Именно поэтому необходимо, чтобы для определенных видов транспорта исследования осуществлялись чаще (таблицы 2.1 и 2.2).

Таким образом получают регулярные данные о росте интенсивности и состав транспортного потока. Учитывая используемую методику исследований, из них нельзя получить:

- направление движения транспортных средств в сети дорог или на узле;
- долю транзитного, исходного и целевого транспорта;
- подвижность населения, загруженность (занятость) транспортных средств, тип, массу, направление движения перевезенного субстрата и производительность (мощность) транспортных средств;
- специальные характеристики, например, скорость транспортного потока.

По этой причине для транспортного планирования в прогнозируемом периоде необходимо реализовать транспортные исследования, которые предоставят все необходимые характеристики транспорта.

## **2. Классификация транспортных исследований**

Классификация транспортных исследований приведена на рис. 2.3 и 2.4. Характеристики отдельных видов транспорта можно получить путем генерального транспортного исследования или при подготовке проектной документации разного уровня. Целевые и специальные исследования автомобильного транспорта применяются как исходные данные при

проектировании, строительстве и реконструкции транспортных развязок путем организации, регулирования и управления транспортными потоками. Тем не менее принятие основной концепции организации дорожного движения для района проектирования (ВТК, СОП, 3) невозможно без наличия информации о существующей транспортной системе и перспективах ее развития.

Таблица 2.1. Деление транспорта для транспортных исследований

Способ исследования	Подол транспорта	
Соответственно типу	<ul style="list-style-type: none"> <li>• индивидуальный автомобильный транспорт (ИАТ);</li> <li>• городской общественный транспорт (МОГ);</li> <li>• внешний общественный транспорт: железнодорожный (3) и автобусный (А);</li> <li>• пешеходный;</li> <li>• авиационный;</li> <li>• водный;</li> <li>• другой</li> </ul>	
Соответственно отношению относительно исследуемой территории	<p>внешний:</p> <p>а) транзитный — исходная точка и цель движения находятся вне исследуемой территории,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проходит через исследуемую территорию,</li> <li>• обходит исследуемую территорию;</li> </ul> <p>б) соответственно направлению движения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• из территории - пункт отправления;</li> <li>• на территорию — пункт назначения</li> </ul>	<p>внутренний:</p> <p>а) пункт отправления та цель движения в пределах исследуемой территории:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• внутренне-районной;</li> <li>• межрайонный (на исследуемой территории между несколькими районами)</li> </ul>
Соответственно направлению транспортных потоков на границе территории	<ul style="list-style-type: none"> <li>• входной транспорт (целевая и входная часть транзитного транспорта);</li> <li>• исходный транспорт (входная и исходная часть транзитного транспорта)</li> </ul>	
Относительно центра исследуемой территории	<ul style="list-style-type: none"> <li>• тангенциальный;</li> <li>• радиальный;</li> <li>• диаметральный (что проходит через центр)</li> </ul>	

Таблица 2.2. Подол поездок транспортных средств соответственно цели

Типы поездок	Подол поездок	Цель поездок
Регулярные	<ul style="list-style-type: none"> <li>• к месту работы;</li> <li>• к месту жительства</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• на работу;</li> <li>• в учебное заведение;</li> <li>• для выполнения рабочих обязанностей (командировка)</li> </ul>
Нерегулярные	<ul style="list-style-type: none"> <li>• за оборудованием;</li> <li>• на отдых;</li> <li>• другое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• сервис, административное управление, культура;</li> <li>• кратковременные по территории, на отдых, продолжительные за границы исследуемой территории;</li> <li>• визиты</li> </ul>

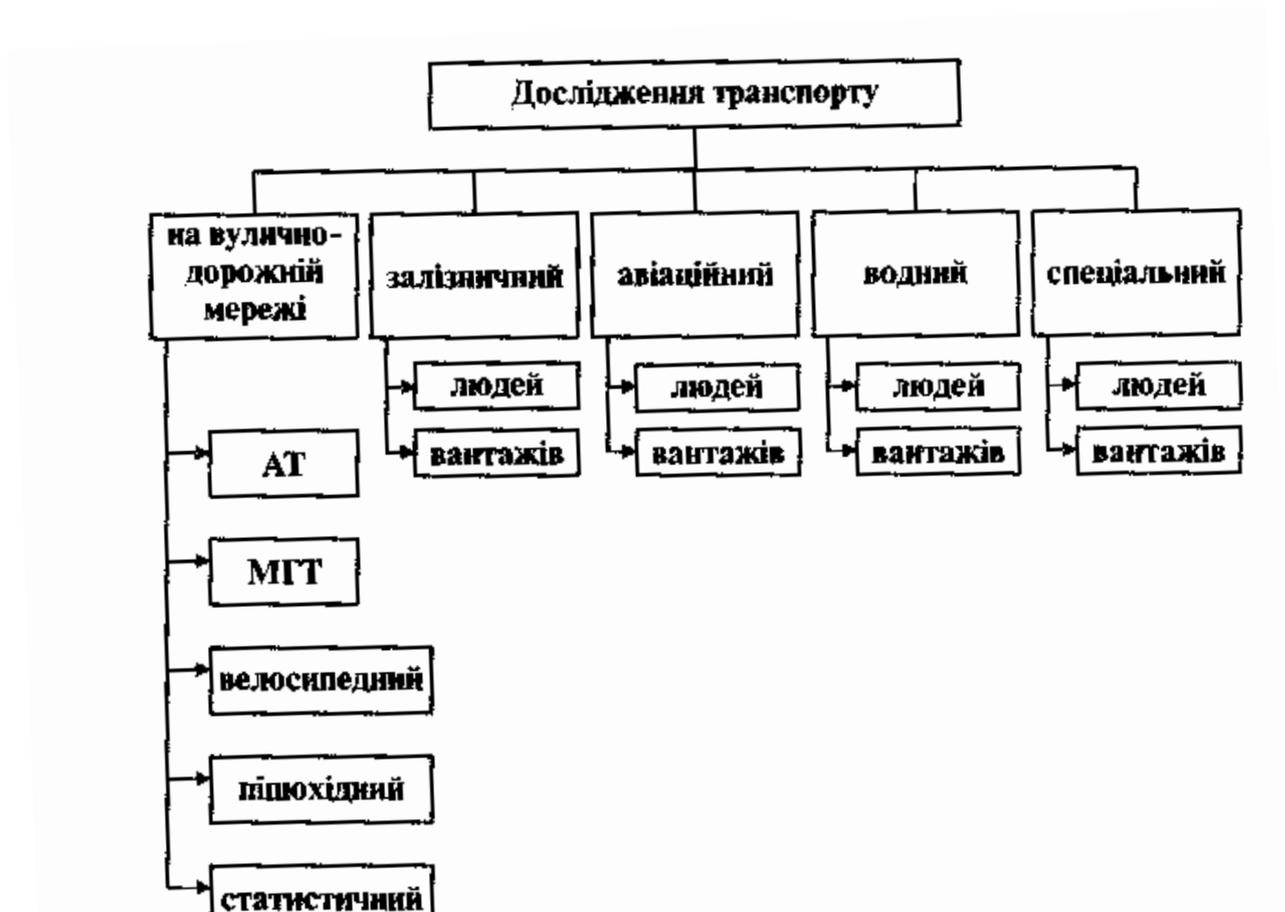


Рис. 2.3. Классификация транспортных исследований

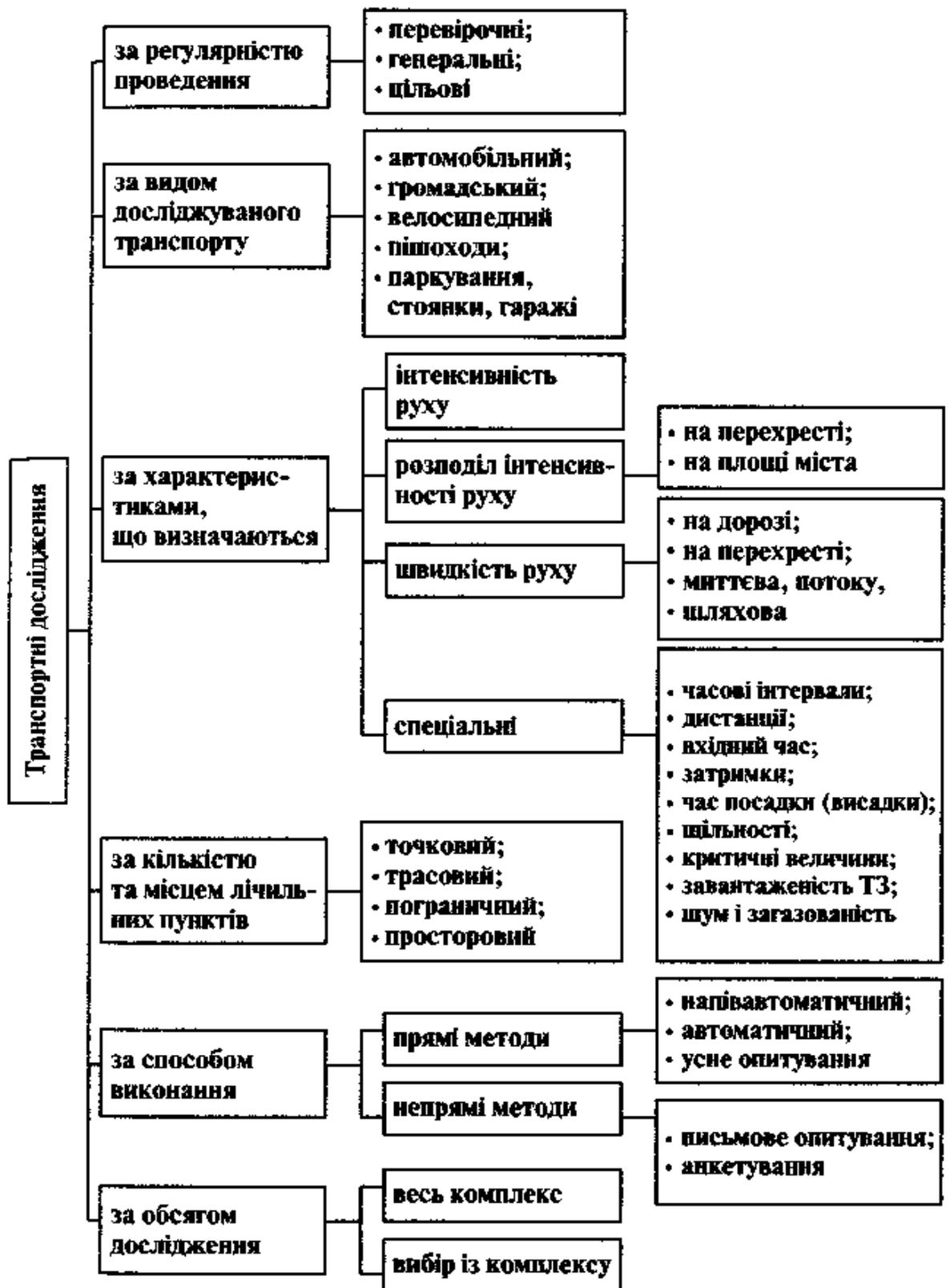


Рис. 2.4. Класифікація транспортних досліджень на автомобільних дорогах

### **3. Методы транспортных исследований**

Соответственно поставленной цели, за временем проведения и продолжительностью исследования могут быть разными. Как показала практика исследования автомобильного транспорта среднего рабочего дня должны проводиться во вторник, среду и четверг, на протяжении следующих месяцев: марта, апреля, мая, июня, сентября и октября. По обыкновению оно длится на протяжении 16 часов, в период между 5 и 21 часом. Полученные значения интенсивностей в указанные время и дни приближаются к значению годовой средней величины дневной интенсивности (РСДІ). Исследование маршрутов автомобильного транспорта можно проводить как 15-ты, так и 14-часовое (через недостаточную освещенность для считывания государственного номерного знака транспортного средства). На избранных пунктах оба эти вида необходимо 24-дополнить часовым исследованием, чтобы можно было определить соотношение между дневным и ночным движением. Пик интенсивности можно определить путем 2-х или 4-х часового исследования утром и во второй половине дня (между 6 и 10-ю часами и 18-ю часами).

Движение в конце недели по обыкновению исследуют в пятницу с 14 до 18 часа, в субботу - с 6 до 10 часа, возвращение домой в субботу и воскресенье - с 17 до 21 часа.

Сезонный (особенно - пожилой) транспорт исследуется в избранные дни отъездов в отпуск.

Для проектирования светофорной сигнализации проводится исследование движения на перекрестках минимум на протяжении одного недели по 16 часов с распределением на 5-минутные интервалы для того, чтобы можно было определить оптимальные циклы регулирования.

#### **Объем транспортного исследования**

С помощью полного транспортного исследования изучают в исследуемом пространстве все элементы, которые принимают участие в движении (транспортные средства, пешеходы). Причем только тогда, когда исследуемое пространство или число элементов в нем малое.

Выборочное транспортное исследование - это исследование избранных транспортных явлений или исследование, проведенное на избранном виде транспорта или группе участников движения.

Таблица 2.3. Исследовательский приемы характеристик транспортных потоков

Исследование	Исследовательский прием	Интенсивность		Состав транспортного потока	Интенсивность на перекрестке	Межрайонные связи	Объем движения				Цель движения
		автомобильного транспорта	транспортного потока				целевого и исходного	предыдущего	внутреннего	общий объем	
Интенсивность и движения	ручной		•	•							
	полуавтоматический		•	0							
	автоматический		•	0							
На перекрестке	измерительные транспортные средства		0	0							
	ручной		•	•	•						
	датчики	0	0	0	•						
Исследование движения по направлениям на территории города	видеозапись	•	•	•	•						
	метод наклеек	0	0	0	0		•	•			
	запись госномера	0	0	0	0	•	•	•	•	•	
	опрашивание на дороге	0	0	0		0	•	•	0		•
	письменное опрашивание на дороге	0	0	0		0	•	•	0		•
	письменное опрашивание на дому и на работе					•		•	•		•
	письменное опрашивание владельцев транспортных средств					•		•	•		•
	опрашивание на дороге и запись госномера	0	0	0		•	•	•	•		•
опрашивание на дороге и на дому	0	0	0								

• — основная характеристика для метода    0 - характеристика, которая определяется соответствующим методом

## Методы транспортного исследования

Методы транспортного исследования делятся согласно рис. 2.4, а также обусловленных характеристик - согласно табл. 2.3-2.5, что дают одновременно и общий обзор, и оцениваемые величины.

Таблица 2.4. Исследовательский приемы парковки

Исследование	Исследовательский прием	Количество транспортных средств	Временной ход парковки	Состав транспортных средств на стоянке	Использование стоянки	Общее количество транспортных средств	Оборот на стоянке	Среднее время	Принадлежность транспортных средств	Цель движения транспортных средств	Источник и цель движения	Среднее пешеходное расстояние
Количество транспортных средств, которые паркуются	запись на стоянке				X							
	запись при приезде и отъезде со стоянки				X X							
	запись на границе				X	•	X					
	аэрофотосъемка				X	•	X					
Продолжительность парковки	запись на стоянке				X	•	X	•	•			
	запись на границе				X	•	X	•	•			
	при исследовании направления				X	o	X	o	0		o	
Цель парковки	письменное опрашивание на стоянке				X	•	X	•	•	•	•	•
	устное опрашивание на стоянке				X	•	X	•	•	•	•	•
	опрашивание на дому и на стоянке	o	o	o	X	0	X					

• - основная характеристика метода; в - величина, которая определяется соответствующим методом; x - производная величина

Таблица 2.5. Методы специальных исследований

Характеристики, что исследуются	Методы					
	ручной	полуавтоматический	автоматический	видео	аэрофото съемка	«плавающий» транспортное средство
Скорости транспортного потока	•	•		o	X	•
Определение временных интервалов	•	•				
Моменты прибытия	•			o		
Насыщение потоков	•					
Задержки на перекрестках	•	•		•		o
Плотности транспортного потока	•			•	•	
Критические величины		•		•	X	
Шум и загазованность		•				
Динамические характеристики						•
Специальные характеристики						•
Время посадки-высадки в МГТ	•					
Загруженность средств МГТ	•					
Движение пешеходов	•	•		•		

• — основная характеристика метода; o — величина, которая определяется соответствующим методом; x - производная величина.

Для исследований транспортных потоков используются следующие вспомогательные средства:

- полевые бланки;
- секундомеры и хронографы;
- еноскоп (зеркало);
- детекторы;
- тахографы;
- видеокамеры;
- специальные измерительные транспортные средства;
- специальная аппаратуры для пространственно-временного наблюдения характеристик транспортного потока (політропон);
- другие вспомогательные средства (самолеты, вертолеты);
- вспомогательные бланки для оценки.

#### **4. Границы территории при транспортных исследованиях и размещение контрольно-учетных пунктов на запланированной территории**

При исследовании маршрутов автомобильного транспорта бывает недостаточно исследовать только территорию зоны, поэтому нужно определить границы исследуемой территории, исходя из следующего:

а) в транспортном процессе города принимают участие и его прилегающие районы (рис. 2.1). Необходимо определить границы прилегающей территории, которая может сделать заказчик исследования, которому они известны; эти границы могут быть определены также разработчиком исследования соответственно предыдущему исследованию;

б) через СОП проходят дороги разного класса, поэтому необходимо определить их положение, качество и прохождения через СОП, а также их загруженность — исходя из предыдущих общегосударственных исследований, и дополнить, особенно для нового транспортного исследования, реальный рост интенсивности движения соответственно заданным коэффициентам роста для разных типов сетей и видов транспортных средств. Дороги образуют на территории СОП сеть, которая может быть магистральной сетью. Поэтому необходимо знать изменения ее загруженности во времени;

в) территория, которая изучается на протяжении проведения транспортного исследования, делится на зоны, районы (транспортные области), специфичность и величина которых определяется характером города (например, центральная городская часть, жилые или промышленные зоны) и размерами территории, которой присущий некоторые общие характеристики (одну жилую зону можно поделить на несколько транспортных областей). Выбор числа и размера областей зависит от характера территории, от урбанистического деления города. Они должны быть приблизительно одинаковые по величиной, формой, плотностью улично-дорожной сети и т.п. Границами между ними не могут быть самые улицы, а только определенные естественные факторы (река, лес) или искусственные барьеры (железнодорожные линии);

г) контрольные пункты необходимо размещать на (рис. 2.5):

- на границе возле города (рис. 2.5, пункты 1-9);
- на границах районов (участков) (рис. 2.5, гг. 10-18);
- внутри районов (участков) на важных магистралях или вблизи от развязок, чтобы можно было определить и внутрирайонные (внутренне-участковые) транспортные отношения (рис. 2.5, гг. 19-26).

Для генерального транспортного исследования делается проект исследования маршрутов автомобильного транспорта в нескольких вариантах, чтобы можно было бы избрать оптимальный вариант по отношению к объемам полученных результаты исследования для определенной цели.

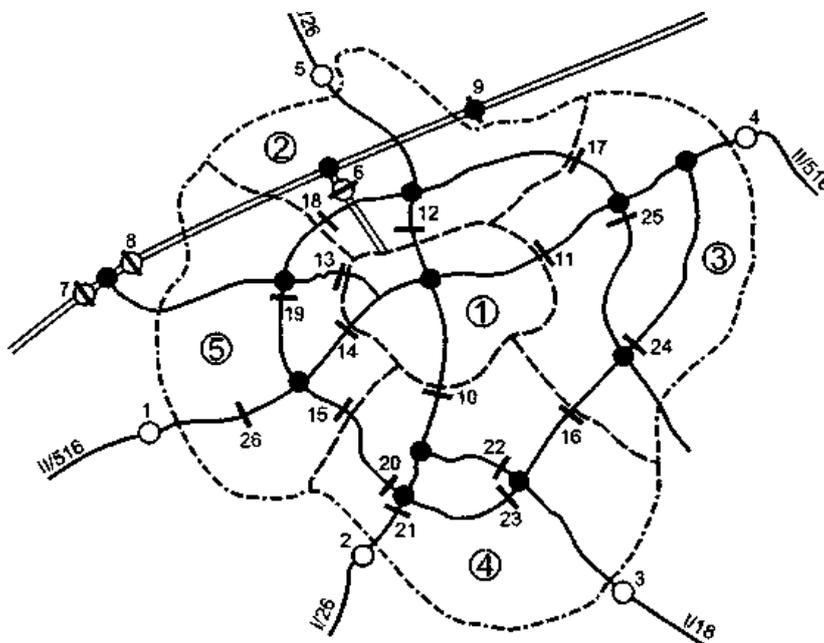


Рис. 2.5. Размещение контрольно-учетных пунктов

## **5. Подготовка транспортного исследования**

В зависимости от цели проведения транспортного исследования избирают его объем, точность, время, методы, средства реализации. В процессе подготовки необходимо определить и обеспечить:

- а) низменность города на зоны, районы (участка) (рис. 2.5); наиболее удобно, если транспортные районы (участка) совпадают с урбанистическими районами, так как тогда для них удобно рассчитывать прогнозы развития города;
- б) выбор исследовательский приема. Принципиально речь идет о

двух методах:

- без участия водителей или других участников движения.

Недостатком этого метода является большое число учетчиков и нужда определенной информации;

- при непосредственном участии водителей и других участников движения.

Недостатком метода является возможность перекручивания результатов (при неправдивой или искаженной подаче информации);

в) положение контрольно-учетных пунктов (их необходимо пронумеровать или присвоить им коды для проведения собственной оценки исследования при машинной обработке);

г) необходимое количество счетных бланков и т.п. (причем нужно выходить с заранее проведенных наблюдений);

д) необходимое количество учетчиков — зависит от их количества и способности зарегистрировать в определенную единицу времени определенное число записей;

е) о каждом более или менее большое исследование нужно информировать городские и районные учреждения, органы внутренних дел, технические службы, при необходимости пригласить к сотрудничеству Госавтоинспекцию (при проведении исследований с остановкой транспортных средств и опрашиванием водителей с целью недопущения ДТП);

ж) финансовые расходы на исследование (обеспечивает заказчик):

- на учетчиков;

- на подготовку материалов (полевых бланков, скрепок, карандашей, красок, штампов и т.п.);

- на обучение учетчикам и их передвижению на отдаленные пункты учета;

- на оплату надзора, инспекции;

- на обработку полевых исследований.

При реализации собственное исследование необходимо контролировать:

а) правильность передачи изменений учетчиков (формуляров исследования);

- б) прохождение исследования и правильность записи исследуемых величин;
- в) количество сданных учетных листов, формуляров на каждом пункте отдельно;
- г) присутствие всех учетчиков на каждом пункте (контроль изменений);
- д) первичная обработка записей замеров (частичные суммы отдельных типы транспортных средств за 5,15, 30-минутные или часовые интервалы);
- е) первичную точность исследования (число розданных и принятых листов должны совпадать).

При таком обеспечении и проведении исследования можно получить необходимую точность результатов.

При проведении исследования автомобильного транспорта при участии учетчиков (по обыкновению учеников средних учебных специальных закладов) один учетчик способен зарегистрировать:

- при частичном методе (запись интенсивности и состава транспортного потока) около 400-500 авт./г;

- при использовании ручного калькулятора (интенсивность без состава транспортного потока или с грубым распределением на «мотоцикл + легковой» и «грузовой автомобиль + автобус» всех типов на двух ручных калькуляторах максимально 2 000 авт./г);

- при распределении транспортных потоков на перекрестке (один учетчик на направление) учетчик способен зарегистрировать до 500 авт./г;

- при записи номерных знаков - приблизительно 300-350 авт./г; это число может быть увеличено до 400-500 авт./г, если учетчиков двое, причем один диктует номерные знаки, второй их записывает. При более высоких интенсивностях движения в одном сечении может работать и несколько учетчиков с распределением записей на «мотоцикл + легковой», «грузовой автомобиль + грузовой автомобиль с прицепом и автобус + прицеп», при этом можно зарегистрировать до 1 000-1 100 авт./г;

- при специфических исследованиях необходимое разное количество

учетчиков в зависимости от того, что определяем; в основном используют не меньше двух учетчиков, из которых один обслуживает записывающее оборудование, второй собственное делает запись в письменной форме - на одном учетном пункте.

К этому числа учетчиков прибавляют резерв, а именно - на поперечный перерез, по крайней мере, одного учетчика, а к общему количеству учетчиков - резерв 2-5%, в зависимости от масштаба исследования, чтобы можно было заменить учетчика (в случае болезни) или для отдыха. Оба резерва вместе составляют 5-15% учетчиков.

## **6. Приборы, используемые для проведения транспортных исследований**

Исследования, которые проводятся на протяжении продолжительного времени (например, исследование интенсивности автомобильного транспорта, состава транспортного потока, скорости или других характеристик), осуществляются с помощью полуавтоматических счетчиков движения.

Они по обыкновению работают по принципу детектувания транспортного средства. Транспортные детекторы можно поделить на: контактные; ультразвуку; электромагнитные со стационарным полем; электромагнитные с лучевым полем (на этом принципе работают радары и фотоэлементные детекторы).

Классификация и основные характеристики транспортных детекторов представлены в табл. 2.6. Они могут быть:

- переносными;
- установленными постоянно в определенном сечении полосы движения или проездной части.

Принцип детектувания отдельных детекторов показан на рис. 2.6. Детекторы размещаются (рис. 2.7):

- возле проезжей части - фотоэлемент, клавишный радар;
- над проездной частью - ультразвуковой детектор;

- возле проездной части - индукционная петля, магнитный детектор;
- через проездную часть - шланговый, тросовый, контактный порог.

Применяются переносные, петельные детекторы (в проездной части их комбинация с контактным порогом или линейным сенсором разрешает определять интенсивность, состав транспортного потока, скорость транспортных средств и временные интервалы или дистанции между ними).

Таблица 2.6. Характеристики детекторов, используемые используются при исследовании транспортного потока

Физический принцип работы	Тип детектора	Техническое использование		Техническое размещение по отношению к проездной части (ПЧ) дороги				Детектор реагирует	
		счетных	Остановка времени	К ПЧ	на ПЧ	Рядом из ПЧ	Через ПЧ	на	с помощью
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Контактный	кнопочный					•		пешехода	прикосновение
	контактный порог			•				велосипед, транспорт-ный средство	давления транспортного средства
	шинный			•				" – "	удара
	шланговый				•			велосипед	удара
	переключатель электропроводника						•	трамвай	прерывание электрического тока
	переключатель рельсов				•			- -	давления транспортного средства
	переключатель стрелок				•			- -	перестановки стрелок
Ультразвуко-вое поле	ультразвуковой					•	•	транспортное средство	рефлекса ультразвука
Электромагнитны й со стационарным полем	магнитный	•		•				Транспорт-ное средство	изменения электромагнитного поля
	индукционная петля		•	•				транспортное средство	изменения электромагнитного поля

Продолжение таблицы

Электромагнитное поле с лучами	радар	•	•			•	•	транспортное средство	изменения электромагнитных волн
	фотоэлемент	•	•			•	•	участников движения	прерывание луча

Таблица 2.7. Исследовательские приемы городского общественного транспорта

Исследование	Исследовательский прием	Интенсивность транспортных средств	Людино-км	Использование перевозочного предложения	Соблюдение интервала	Оборот пассажиров на остановке	Количество перевезенных пассажиров	Задержка на остановке	Среднее расстояние перевозок	Межобластные транспортные связи	Источник и цель движения	Подвижность в МГТ
Интенсивности	оценка загруженности транспортных средств в сечении	•	X	X	o							
	прямой подсчет загруженности в транспортных средствах	•	X	X								
Количество перевезенных	подсчет пассажиров, которые входят и выходят на остановках	•	X	X	o	•	•	o	X			
Направления	отчетные письма	o	X	X		•	•		X	•		X
	устное опрашивание в транспортном средстве	o	X	X		•	•		X	•	•	X
	письменное опрашивание при перевозке	o	X	X		•	•		X	•	•	X
	опрашивание на дому и на работе		X	X			o		X	•	•	X

• — основная величина метода; ° — производная величина; х- определяется непосредственно.

Шлангу и тросовые переносные детекторы или же контактный порог работают по принципу подсчета числа осей транспортных средств. Более новые счетчики регистрируют проезд только каждой второй, осы или же считают на регистрационную ленту число транспортных средств, которые проехали, за определенный интервал времени (час, день). Тогда действительное число транспортных средств - разность сумм двух следующих одно за одним значений в интервале. Недостатком шлангового счетчика является то, что требуется определенное время, прежде чем стабилизируется давление воздуха в шланге, освободится мембрана и прибор будет способен работать.

Постоянно установленные счетчики работают на электромагнитном принципе (петля), с использованием фотоэлемента и ультразвука.

Их размеры приведены на рис. 2.7. их недостатком является то, что при проезде одновременно трудного грузового и легкового автомобиля над соседней петлей первый может своей массой перекрыть легковой автомобиль, в результате чего последний не будет зарегистрированный. По этой причине результаты исследований калибруют путем прямого исследования интенсивности и состава транспортного потока, тем самым получают перерасчет из числа зарегистрированных импульсов (транспортных средств) на действительное число транспортных средств.

Автоматические счетчики автомобильного транспорта, велосипедистов, средств МГТ используются во многих странах и является частью управления движением с помощью световой сигнализации.

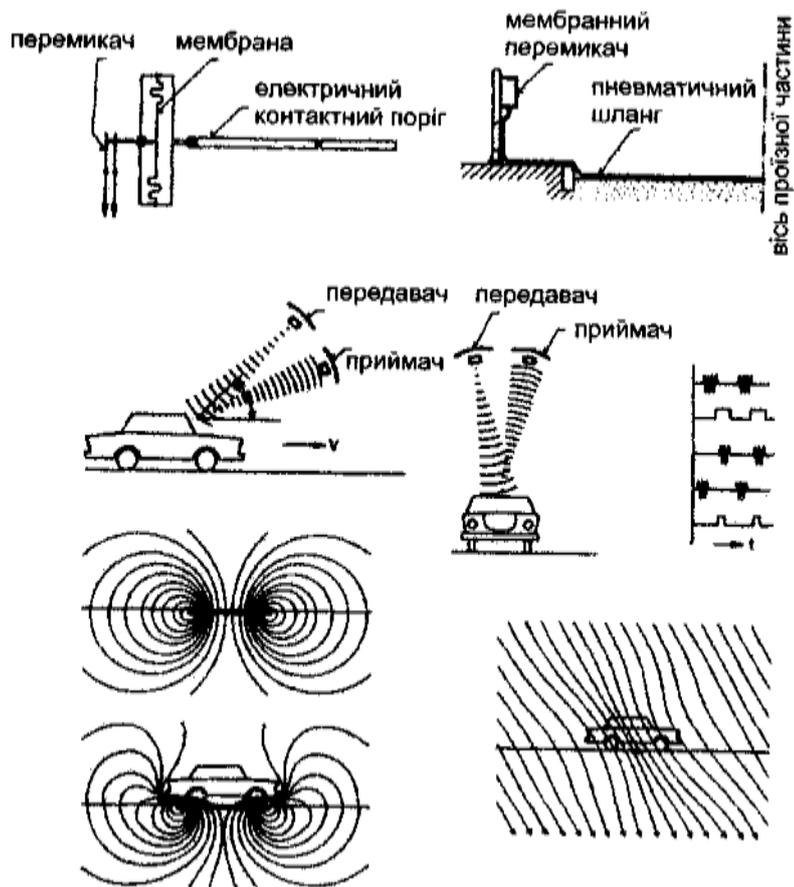


Рис. 2.6. Принцип записи с детекторами разных типов

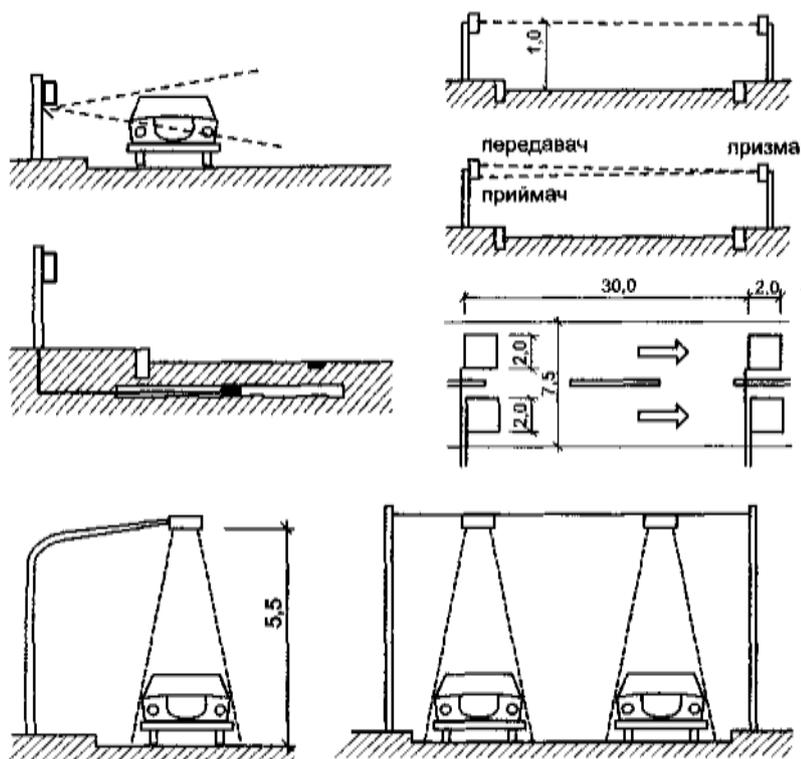


Рис. 2.7. Размещение детекторов на проезжей части

## Тема 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

### 1. Классификация и характеристика методов исследования дорожного движения

В отечественной и зарубежной практике исследований дорожного движения известно много методов, начиная от простейших, выполнение которых доступно одному человеку без специального оснащения, и кончая сложными и трудоемкими, требующими применения современной электронно-измерительной аппаратуры и ходовых лабораторий. Многообразие методов объясняется, с одной стороны, большим числом задач, решаемых с помощью организации движения, и параметров, влияющих на характеристики движения, а с другой — постоянным совершенствованием аппаратуры, применяемой для получения первичных данных и их обработки.

Коренные изменения в методы исследований параметров дорожного движения и их использование вносят АСУД. Они позволяют в автоматическом режиме собирать и обрабатывать обширную информацию о состоянии транспортных потоков. Однако для решения отдельных оперативных задач организации движения даже на территориях, обслуживаемых автоматизированными системами управления, необходимы и более простые способы исследования, ориентированные на участие человека-наблюдателя.

На рис. 3.1. представлена классификация наиболее распространенных методов исследования характеристик и условий дорожного движения, в основу которой положен способ получения необходимой информации.

Документальное изучение подразумевает изучение материала без непосредственного выезда на объект исследования (в так называемых камеральных условиях). Документальное изучение можно осуществлять как на базе специально собранных данных, так и обработкой предназначенных для других целей материалов. Так, достаточно подробные сведения об ожидаемых транспортных потоках в зоне предполагаемого крупного строительства могут

быть, получены на основе изучения проектных и плановых материалов об автомобильных перевозках строительных грузов. Другим примером может служить анализ материалов, характеризующих работу маршрутного

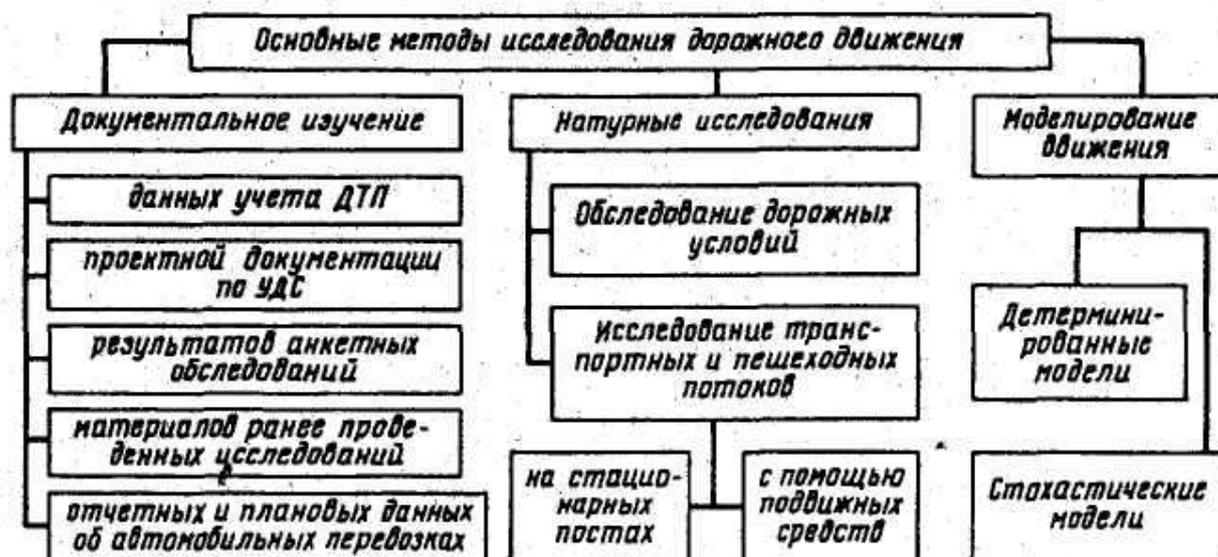


Рис. 3.1. Классификация методов исследования дорожного движения

пассажира транспортного средства, которые можно получить в соответствующем транспортном предприятии. По ним можно составить характеристики движения подвижного состава в различные периоды суток, не проводя непосредственного наблюдения. Материалы о размерах и характере перевозок часто специально собирают путем анкетного обследования. Типичным примером анкетного обследования является опрос владельцев личных автомобилей в городе о пробеге, характерных маршрутах и времени поездок. Инструментом для такого обследования является анкета с необходимым перечнем вопросов, приспособленная для обработки на ЭВМ.

Анкета обследования промышленных предприятий для установления ожидаемого грузооборота, а следовательно, и размеров грузовых перевозок может содержать вопросы о количестве выпускаемой продукции, потребляемом сырье, топливе, полуфабрикатах, намечаемом строительстве и его потребностях в

материалах.

Сведения, естественно, должны касаться только тех грузов, которые перевозит автомобильный и городской электрический транспорт.

Анкетный опрос весьма полезен также для обобщения замечаний водителей о тех недостатках в организации движения или дорожных условиях, которые характерны для обследуемых маршрутов или участков УДС.

Важным разделом документального изучения является прогнозирование размеров движения, которое базируется на гипотезе роста размеров движения пропорционально росту парка автомобилей.

Анализ данных Госавтоинспекции о ДТП позволяет дать обобщенную характеристику причин и условий их возникновения, а также выявить места концентрации ДТП.

Анализ имеющейся проектной документации по УДС дает возможность подготовить предварительную характеристику дороги (ширина, число полос движения, радиусы закруглений и т.п.). По мере необходимости эти документальные данные могут уточняться натурным исследованием дорожных условий.

**Натурные исследования** заключаются в фиксации конкретных условий и показателей дорожного движения, происходящего в течение данного периода времени. Эта группа методов в настоящее время наиболее распространена и отличается большим многообразием. Натурные исследования являются единственным способом получения достоверной информации о состоянии дорог и позволяют дать точную характеристику существующих транспортных и пешеходных потоков.

Натурные исследования дорожного движения с точки зрения метода получения информации и ее характера подразделяют на две группы: первая — изучение на стационарных постах, позволяющее получить многие характеристики и их изменение во времени, однако только в тех местах УДС, где эти посты расположены; вторая — изучение с помощью подвижных средств, позволяющее получить пространственные и пространственно-временные параметры дорожного

движения.

Исследования второй группы чаще всего обеспечивают при помощи автомобиля-лаборатории, иногда для этих целей применяют вертолет. Общим условием для всех натуральных исследований является необходимость присутствия наблюдателя. В некоторых случаях функции наблюдателя могут выполняться с помощью автоматических датчиков в обследуемой точке УДС. Натурные исследования дорожного движения осуществляются пассивными или активными методами.

При пассивном методе фиксируются лишь фактически сложившиеся режимы движения, и наблюдатель не вмешивается в процесс движения, т.е. получает "фотографию" существующего положения. Вместе с тем определенные характеристики транспортного и пешеходного потоков могут существенно изменяться даже при относительно небольшом улучшении организации движения, например при установке дополнительных знаков. Поэтому в ряде случаев необходим активный эксперимент, не ограничивающийся фиксацией существующего положения, а обеспечивающий проверку эффективности различных вариантов организации дорожного движения. Это в первую очередь проверка при искусственном увеличении интенсивности движения.

**Моделирование** процессов дорожного движения базируется на описании различных аспектов движения автомобилей или пешеходов математическими методами. Как показано на рис. 3.1, при этом могут использоваться детерминированные или стохастические модели.

Детерминированные модели строятся по средним значениям, полученных натурными исследованиями и являются более простыми. Стохастические модели строятся с учетом случайного распределения показателей, характеризующих отдельные элементы принимаемого математического описания процесса движения, и могут обеспечить более объективное воспроизведение различных фрагментов дорожного движения, в частности, с учетом поведения людей (водителей и пешеходов).

Как правило, анализ вариантов при моделировании выполняют при помощи

ЭВМ, что в конечном счете ускоряет процесс такого исследования с большой вариацией применяемых исходных данных.

Каждое исследование должно, как правило, состоять из четырех основных этапов: 1 — разработка проекта программы и методики исследования; 2 — подготовка исследования; 3 — непосредственное проведение исследования; 4 — обработка полученных данных и составление отчета.

На 1-м этапе формируют цели и задачи исследования, определяют место, время и объем наблюдений, необходимое оборудование и аппаратуру, число исполнителей работы. На 2-м этапе подготавливают аппаратуру и исполнителей, а также проводят пробные обследования (репетиции), по результатам которых уточняют программу и методику исследования. Общий успех во многом зависит от тщательности выполнения 1 -го и 2-го этапов, т.е. детальности разработки программы и достаточности предварительной подготовки всех участников работы.

При разработке программы важно определить не только методы получения изучаемых показателей, но и формы для их регистрации, которые должны быть заранее заготовлены. При подготовке натуральных исследований особенности условий и режимов движения и соответственно методику работы во всех деталях трудно предусмотреть, особенно если такого рода исследование проводится исполнителями впервые. Поэтому окончательно уточнять программу и методику следует после предварительного эксперимента, в процессе которого одновременно тренируются участники предстоящей работы.

## **2. Исследование аварийности дорожного движения**

Аварийность дорожного движения есть одним из отрицательных явлений на транспорте, который, особенно в последнее время, проявляет тенденцию к росту. Из стороны дороги исследуются, главным образом, места дорожно-транспортных событий (ДТП) и отношение технических факторов к ним. К статистике ДТП относится и диаграмма столкновений (рис. 2.8), которая составляется для

наиболее частых мест их совершения соответственно эскизам, которые выполняются при каждой ДТП.

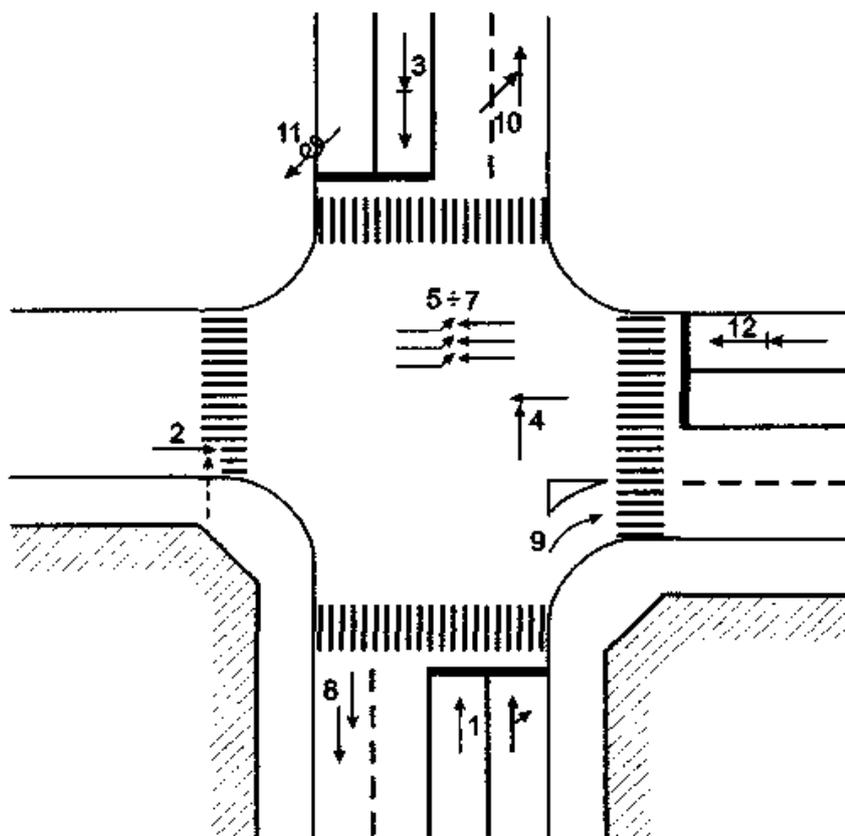


Рис. 2.8. Диаграмма столкновений на просторные перекрестки:

- 1- способ перевыстраивания транспортных средств;
- 2- столкновение с пешеходом;
- 3- столкновение с транспортным средством, которое стоит;
- 4- прямое столкновение;
- 5- 7 — столкновение с транспортными средствами, которые возвращают;
- 8- столкновение при обгоне;
- 9- ДТП без столкновения;
- 10 - боковое столкновение;
- 11 - занос транспортного средства;
- 12- наезд сзади.

### 3. Исследование пешеходного и велосипедного движения

Одной из главных составляющих движения в городе есть пешеходное движение. При его исследовании определяется:

- интенсивность движения пешеходов;
- направления движения пешеходных потоков;
- скорости и плотности движения пешеходных потоков;
- социологические данные (например, возраст, пол, образование, профессия, наличие собственного механического транспортного средства, жилые условия, состояние здоровья).

Для проведения исследования пешеходного движения применяются:

- прямые ручные методы (счетные листы, опрашивание, запись);
- косвенные — видеосъемка, анкета.

Как вспомогательные средства используются счетные бланки, технические секундомеры, специально разработанные анкеты и т.п.

В случае, если обследование исследуемого участка затруднено, также как и наблюдение за пешеходами (переходят улицу где угодно), осуществляется дорожное исследование пешеходов, главным образом, на небольших улицах, в частях города (часть центра, определенная улица, пешеходная зона). На рис. 2.10 показанная схема перехода для пешеходов при исследовании. Этому типу исследований отвечает счетный формуляр.

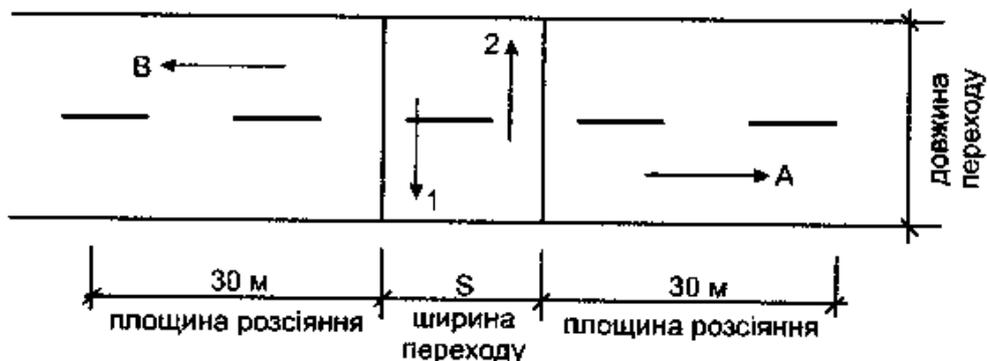


Рис. 2.10. Схема обследуемого пространства на переходе для пешеходов:

1,2 - направление движения пешеходов; А, В - направление дорожного

движения

В рамках исследований всех видов транспорта необходимо проводить и исследование велосипедного движения. При этом наблюдаются: - интенсивность велосипедного движения и его временные изменения; - направление; - скорость движения; - способ размещения велосипедов в исходном пункте.

Пока не разработанные специальные методы для исследования велосипедного движения, так как этот вид транспорта используется мало.

Для исследования его интенсивности можно применять прямые ручные методы; для исследования маршрутов лучше всего использовать проведение опрашиваний на рабочих местах или по месту проживания. Скорость велосипедного движения измеряется с помощью еноскопу и видеосъемки. Способ постановки велосипедов исследуется одновременно в исходных и конечных пунктах движения вместе с емкостью приспособлений для их размещения (стойки и т.п.).

#### **4. Исследование транспортных потоков на стационарных постах.**

Стационарный пост наблюдения позволяет получить информацию об интенсивности (объеме), составе транспортного потока по типам, мгновенной скорости и задержках транспортных средств. Указанную информацию можно собирать как путем наблюдений с использованием простейших средств (секундомера, механического счетчика, специальных бланков для учета), так и с применением средств автоматической регистрации.

Чаще всего возникает необходимость в получении данных об интенсивности транспортных потоков. В простейшем случае наблюдатели регистрируют проезд каждой транспортной единицы условным знаком в бланке протокола. Форма бланка составлена с учетом конкретных данных, которые необходимо фиксировать.

Интенсивность и состав транспортных и пешеходных потоков удобно

анализировать в камеральных условиях при просмотре видеозаписи, выполненной в необходимых местах УДС на стационарных постах.

Транспортные корреспонденции могут быть получены на стационарном посту путем опроса водителей. Результаты опроса заносят в протокол, который составляют по примерной форме 3.1.

Для получения информации о показателях движения на изучаемой территории посты наблюдения располагают во всех характерных узлах на границе зоны обследования. Данные о корреспонденциях при этом могут быть получены методами опроса, талонного обследования, наклеивания ярлыков, записи номерных знаков.

Сущность метода талонного обследования заключается в том, что на установленных контрольных постах водителям транспортных средств вручают талоны (карточки), которые затем в определенных пунктах собирают. Размещение постов выдачи и сбора талонов определяют исходя из задачи исследования транспортных корреспонденции.

Талоны могут иметь различные форму и содержание (рис. 3.2). Для облегчения обработки данных обследования могут применять талоны разного цвета, например, для легковых автомобилей синие талоны, для автобусов — белые и т.д. Обработка информации, внесенной в талон на посту выдачи и на посту сбора, позволяет не только получить данные об интенсивности и составе транспортных потоков по исследуемым направлениям, но и рассчитать скорости сообщения.

Одной из частных задач, которая может быть решена методом талонного обследования, является выявление доли транзитного и местного движения в отношении и какой-либо зоне. Такая задача, например, возникает для обоснования необходимости строительства объездной дороги вокруг населенного пункта, расположенного на дороге, или устройства магистрали-дублера в городе. В этом случае обследование проводят по линейному варианту с расположением двух постов (рис. 3.3). Обработка талонов, выданных и собранных на контрольных постах КП-1 и КП-2, позволяет определить долю чистого транзита

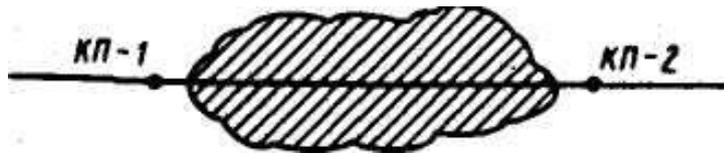


Рис. 3.3. Линейное размещение контрольных постов на автомобильной дороге

(автомобили, проехавшие населенный пункт или уличную магистраль без остановки), прерванного транзита (автомобили, имевшие относительно длительную остановку в исследуемой зоне) и местного движения (по талонам, не поступившим вообще на контрольный пост или вернувшимся на пост выдачи).

Метод талонного обследования требует двукратной остановки каждого транспортного средства в зоне обследования, что при большом объеме движения представляет трудность и может вызвать заторы. Поэтому, если при обследовании движения не ставится цель получить данные о скорости сообщения, используют метод наклеивания ярлыков. В этом случае автомобили останавливают только один раз — на входном пункте. Здесь на ветровое стекло или кузов наклеивают ярлык, который по цвету, форме или символу соответствует данному входному пункту. На остальных постах в зоне обследования наблюдатели ориентируются на ярлыки и фиксируют в своих протоколах число транспортных средств, проследовавших с каждого предыдущего пункта за установленные периоды времени.

Протокол для этого обследования составляют по форме 3.2.

Метод записи номерных знаков позволяет вообще исключить остановку автомобилей для регистрации и вместе с тем дает возможность сочетать изучение интенсивности, состава транспортного потока и корреспонденции с получением данных о скорости сообщений, а также выявлять транзит на любом посту наблюдения. На всех постах наблюдения в этом случае так же, как при талонном обследовании, должны быть сверенные хронометры (часы), чтобы регистрировать точное время. На каждом посту ведется протокол по форме 3.3.

### Протокол обследования движения

Контрольный пост \_\_\_\_\_

Начало обследования \_\_\_\_\_ Окончание \_\_\_\_\_

Время		Тип транспортного средства	С какого следует	КП ание	Примечание
ч	мин				

Номерной знак автомобиля записывают без обозначения серии, так как вероятность совпадения серии и модели автомобиля практически ничтожна. Вместо модели автомобиля может фиксироваться только тип автомобиля (легковой, грузовой, автобус, автопоезд). Время регистрируют с точностью до 1 мин.

Последовательное сопоставление записей в протоколах соседних постов по каждому автомобилю позволяет определить его маршрут и рассчитать время, а следовательно, и скорость сообщения.

Тип или модель автомобиля можно записывать в протоколе условным обозначением, например, легковой — Л; автобус — А; грузовой — Г; автопоезд — П; мотоцикл — М. При обследовании методом записи номерных знаков на постах наблюдения для сокращения трудоемкости и повышения оперативности работы наблюдателей можно делать первичную регистрацию не в бланке протокола, а записью на магнитофоне. В этом случае протокол оформляют после проведения обследования и обработки звукозаписи в камеральных условиях.

Значительно более сложной и трудоемкой является задача исследования корреспонденции в районе или целом городе. Здесь требуются, прежде всего, предварительная аналитическая работа над имеющимися результатами ранее проведенных обследований, а также собственные предварительные наблюдения. Это необходимо для правильного выбора пунктов наблюдения с тем, чтобы их было меньше. Вместе с тем исследование должно дать объективную картину наиболее важных корреспонденции, эффективность которых должна быть

обеспечена средствами организации движения при дальнейшем проектировании. Следует заметить, что схема, аналогичная представленной на рис. 3.4, б, может применяться и при обследовании пешеходных маршрутов. Матрица при этом ограничивается данными об интенсивности пешеходных потоков.

При определении числа наблюдателей, регистрирующих автомобили, следует исходить из возможности 1 чел. зарегистрировать в течение 1 ч около 300 номеров при условии предоставления отдыха после каждого часа работы. Следует отметить, что метод записи номерных знаков может быть использован для измерения скорости или времени задержек и на коротком участке дороги, например на отдельном перекрестке. В этом случае время можно измерять только на выходном посту КП-2 по секундомеру. Секундомер включают по команде наблюдателя входного поста КП-1, который указывает номер автомобиля, и останавливают при проезде поста КП-2 данным автомобилем. Протокол ведется в этом случае только на КП-2. Команды передают с помощью радиотелефона.

Результаты изучения интенсивности (объема) движения обычно оформляют, помимо протокола, в виде картограмм (рис. 3.5). Мгновенные скорости транспортных средств можно определять при помощи секундомера, автоматических или полуавтоматических приборов. При этом измеряют время проезда автомобилем базового расстояния, отмеченного на дороге линиями или другими ориентирами. Базовое расстояние должно соответствовать уровню скоростей на данном участке. Типичное базовое расстояние при ручном измерении с помощью секундомера 30—60 м. Результаты измерений группируют и обрабатывают методами математической статистики, а графически оформляют в виде кумулятивных кривых (рис. 3.6) или кривых распределения (см. рис. 2.6).

Изучать движение на стационарных постах можно сплошным или выборочным наблюдением. При сплошном наблюдении фиксируют. Каждое транспортное средство, проходящее через контролируемое сечение в течение изучаемого периода времени (например, суток). При отсутствии средств автоматической регистрации исследуемых параметров сплошное наблюдение в местах интенсивного движения требует большого числа исполнителей и больших

материальных затрат. Чтобы более экономно расходовать средства, можно изучать движение с относительно небольшим штатом наблюдателей, прибегая к выборочному исследованию. При выборочном исследовании интенсивности движения транспортные средства регистрируют не непрерывно, а в отдельные периоды времени. Так, например, в течение каждого часа наблюдение ведут 15—20 мин, а затем полученные данные распространяют на весь час. Мгновенные скорости транспортных средств, как правило, получают выборочным методом. Необходимый объем выборки для получения требуемой точности может быть рассчитан в соответствии с данными, приведенными в подразделе 3.4.

## **5. Исследование транспортного потока с помощью измерительного транспортного средства**

Характеристики транспортного потока определяются не только в перерезе, на коротком отрезке дороги, но и в просторные, и во времени, на всей длине дороги с помощью пространственно-временного наблюдения за движением.

Область пространственно-временного наблюдения можно определить как произвольную часть плоскости пространства (расстояние) - время. Поэтому на пространственно-временной плоскости дороги, ограниченной двумя избранными перерезами на произвольном расстоянии, можно выразить:

- движение транспортных средств - при исследовании всего участка - их траекториями;

- при исследовании колонны транспортных средств и всего транспортного потока с помощью «плавающего» транспортного средства (пространственно-временными характеристиками). Они отличаются от статических характеристик именно тем, что исследуются по всей пространственно-временной поверхности так, что измерительное транспортное средство записывает их на перфоленту, пленку, магнитную ленту и т.п. Поэтому и результаты замеров, полученные от «плавающего» транспортного средства, называют пространственно-временными или динамическими характеристиками транспортного потока.

Траектории движения транспортных средств на пространственно-временной поверхности меньшей длины можно описать и замером их движения в транспортном потоке с помощью нескольких детекторов и записывающих приборов, которые отмечают проезд машин в одном или в обоих направлениях по дороге, графически или в цифровом выражении. Такие приборы называются политропон.

Характеристики движения транспортного потока, обусловленные «плавающим» транспортным средством, снимаются специальным оборудованием, которое вмонтировано в нем. Оно работает по принципу съемки пути, который пройдет транспортное средство в постоянном интервале времени 1 с, с точностью до 0,2 г. С помощью такого оборудования можно определить:

- реальное время;
- дату, час, номер дороги и направление движения;
- активный и пассивный обгон измерительного транспортного средства или встреча других транспортных средств;
- проезд определенных дорожных объектов (стоп-линия, перекресток, остановка МГТ, детектор и т.д.) или их появление во встречном направлении;
- шум от транспорта, с помощью шумомера;
- обеспечить движение видеокамеры, которая может снимать проезжую часть на пленку;
- расхода горючего.

Все эти данные обрабатываются в таблице. Результаты замеров выдают для измерительного транспортного средства и для транспортных средств в потоке (в котором «плавали») следующие данные:

- 1) пройденный путь (м);
- 2) время, необходимое для его проезда (с);
- 3) места и продолжительность стоянки транспортных средств (г, с);
- 4) число активных и пассивных обгонов;
- 5) число встреченных транспортных средств;
- б) положение дорожных объектов, которые наблюдаются, и расхода времени

на их прохождение;

7) шум от транспорта;

8) скорости транспортного средства:

- движения (м/с),

- мгновенная (м/с),

- дорожная (м/с) и их минимальные, максимальные и средние значения;

9) значение ускорения и замедление транспортного средства;

10) расхода горючего на дороге и ее отдельных участках (л/100 км). Все

приведенные характеристики можно использовать для:

- определение «узких» мест на исследуемых дорогах;

- оценки непрерывности транспортного потока;

- изменения проекта управляющих программ;

- проекта линейной и пространственной координации в управлении

движением;

- определение внутренней энергии транспортного потока;

- проверки разных теорий транспортного потока;

- для специальных целей.

## **6. Исследование скорости транспортного потока**

Скорость транспортного потока можно исследовать:

- в перерезе дороги;

- на очень коротком участке дороги;

- на всей дороге.

Для ее исследования используются методы (табл. 2.5).

Еноскоп - это зеркало, размещенное диагонально в затененном пространстве (рис. 2.11), в котором всегда появится транспортное средство, которое проходит мимо него. Учетчик отмечает время проезда через поперечный перерез еноскопом и время проезда перереза, где находится учетчик. За известного расстояния учетчика от зеркала можно рассчитать скорость

транспортного средства. Время проезда записывается в счетные бланки. Так одновременно устанавливается интенсивность и состав транспортного потока за исследуемый интервал времени.

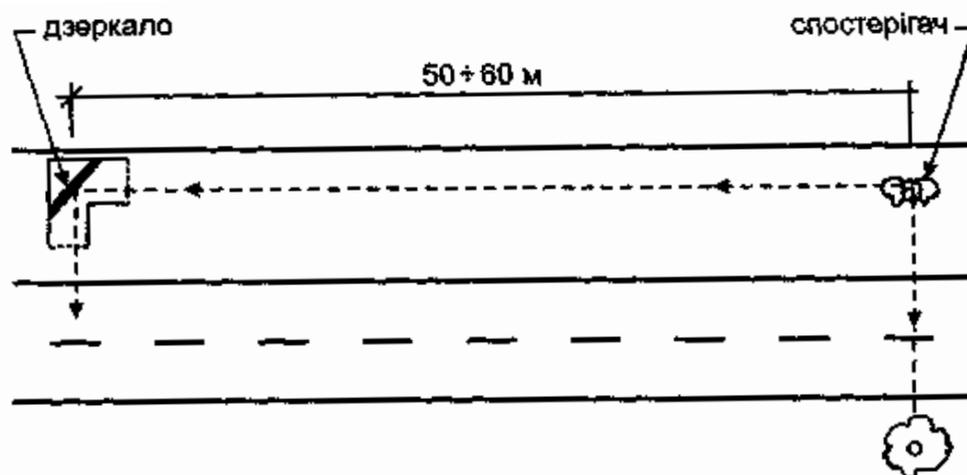


Рис. 2.11. Размещение еноскопу (зеркала) при исследовании мгновенной скорости транспортных средств

Использование радара разрешает непосредственно измерять скорость транспортных средств; данные записываются в счетные бланки, которая разрешает сделать оценку одинаковых данных. Обработка результатов замеров проводится графически или в виде таблиц. Кроме мгновенных скоростей, в транспортном потоке исследуется и средняя скорость движения, и дорожная скорость. Все данные используются для качественной и количественной оценки движения транспортного потока, безопасности дорожного движения, для проектирования светофорной сигнализации (линейной координации и координированных скоростей). Скорость транспортных средств на просторные перекрестки, управляемого светофором, исследуется, главным образом, через безопасность движения. Обработка результатов замеров для автотранспорта и МГТ разный, так как средства МГТ часто медленнее освобождают пространство перекрестка, чем другой транспорт. Технология обработки данных замеров подобная, однако различается движение первых, вторых...,  $n$ -х транспортных средств, которые стоят в очереди перед перекрестком и въезжают на него при включении зеленого сигнала.

## **Тема 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА**

### **1. Цель исследования городского общественного транспорта**

Целью исследований городского общественного транспорта есть получения данных об:

- а) интенсивность и направления потоков пассажиров;
- б) качество работы МОГ, что выражена:
  - загруженностью маршрутов в продолжение дня и у часа «пик»,
  - интервалом на линиях и коэффициентом неравномерности,
  - числом пересадок из линии на линию,
  - загруженностью транспортных средств,
  - загрузкам остановок и оборотом на них пассажиров,
  - числом предоставленных мест и т.д.;
- в) другие эксплуатационные характеристики МГТ, как например:
  - число транспортных средств в эксплуатации,
  - существующий тариф (пересадочный, беспересадочный),
  - определение подвижности пассажиров и владельцев абонементных билетов,
    - скорость движения и дорожная скорость,
    - продолжительность входа и выхода пассажиров в (з) средства МГТ в зависимости от их количества, оборудование транспортного средства,
    - мощность МГТ,
    - длина маршрутов.

Время продолжительности исследования подобный тому, что описанный в разделе 2.2. В табл. 2.7 наглядно представлены исследовательский приемы МГТ и величины, которые можно получить в результате их проведения.

Путем специальных исследований МГТ (скорость средств МГТ на прилегающих перекрестках, дорожные скорости и скорости движения, задержки транспортных средств) оценивается качество работы МГТ в городе и их

результаты используются для расчета прогноза развития МГТ в городе из позиции организации дорожного движения.

## **2. Исследование перевозок пассажиров автомобильным транспортом**

Перевозка пассажиров и грузов имеет свои специфические характеристики и, соответственно им, должны быть подготовлено исследование этого транспорта на обследуемой территории. Оно актуальное для средних и малых городов и других населенных пунктов.

Исследование перевозок пассажиров в городе отличается от исследования в городской агломерации или на близлежащей территории. При подготовке исследования перевозок пассажиров, прежде всего, определяют:

- число и положения автобусных остановок в городе;
- число и положения остановок загородных линий в городе (селе);
- количество линий приезжающих (уезжающих) из исследуемой области и их низменность на линии далекого следования и линии в агломерации (пригородные) и их распределение во времени;
- число автобусов на линии;
- число абонементов на загородных линиях в агломерации и их низменность на ученические и рабочие (дневные, неделе, месячные);
- число проданных билетов на отдельных загородных линиях за учетом предприятия автомобильного транспорта.

При проведении исследования перевозок пассажиров используются следующие методы:

- а) прямые — в транспортном средстве;
  - на остановках и автобусных станциях;
- б) косвенные — опрашивание в виде анкеты.

При прямых методах учетчики начинают работу в транспортных средствах сразу из отправных пунктов (в агломерации), на линиях далекого следования

можно установить количество и отправной пункт пассажиров на границе агломерации и во время движения к пункту назначения уточнить следующие данные (посадку, высадку, коды пассажиров в пункте отправления и назначение). Такой метод удобный для применения только в небольших городах, где количество маршрутов незначительное.

В больших населенных пунктах или при исследовании перевозок пассажиров во всей агломерации характеристики перевозок определяют на автобусных станциях и остановках, где в заранее подготовленные формуляры учетчики записывают количество:

- пассажиров, которые входят и выходят на каждой остановке;
- загрузка транспортного средства;
- пассажиров с разовыми билетами и льготными абонементом;
- пунктов отправления (назначение), откуда (куда) едут пассажиры с обычными разовыми билетами;
- транзитных пассажиров, которые двигаются без пересадок и с пересадками, с определением места пересадки на другой маршрут.

Результаты исследования дополняются данными предприятия автомобильного транспорта о количестве проданных билетов перевезенных пассажиров на протяжении года, для того, чтобы можно было определить производительность (объемы) пассажирских перевозок. Эти данные обрабатываются графически или в виде таблиц.

Косвенные методы реализуются соответственно выборочному обследованию по обыкновению с помощью анкетирования в транспортных средствах следующим чином: пассажиры во время поездки заполняют анкету, которую отдают учетчику при выходе из автобуса или на остановке.

Этот метод должен содержать существенным образом меньше вопросов через ограниченность во времени для их заполнения, например, перед отправлением маршрутов, в утренние часы «пик» и т.д. Это выборочный метод и он не дает полной и точной картины перевозок пассажиров.

### **3. Исследование перевозок грузов автомобильным транспортом**

Одноразовое исследование грузового автомобильного транспорта в пределах города (агломерации) проводится при направленном исследовании по использованию записи номерных знаков. Для планирования и прогнозирования недостаточно знать только направление, но и необходимо определить:

- тип, количество, массу (объем) перевезенных грузов соответственно группам субстратов;
- регулярность грузового транспортного снабжения в городе (маршруты, время, вид товаров, которым обеспечивается торговая сеть);
- сезонность движения;
- способ перевозок (виды и типы тары и соответствующее оборудование для загрузки-разгрузки);
- размеры, местонахождения, качество складских и перевалочных помещений, особенно на грузовых железнодорожных станциях и в портах, и их использование;
- объемы грузового транспорта.

Грузовой автомобильный транспорт обследуют на соответствующих предприятиях путем выписки необходимых данных из годовых сведений о перевозке грузов на территории города и для полноты дополняют выписками о перевозке грузов заводским автомобильным транспортом.

Учет перевозок грузов ведется соответственно действующим государственным нормам, поэтому от всех предприятий на исследуемой территории можно получить данные учета перевозок субстратов.

Если в исследуемой области существует авиационное и водное движение, то они исследуются в рамках генерального транспортного исследования.

С обзора на его специфичность, можно получить на запрос от управления аэропорта или порта (пристани) следующие данные:

- объемы оборудования для пассажирского и грузового движения;
- времени (сезонные) изменения этого движения;

- число перевезенных пассажиров за день и год;
- количество тонн и типы субстратов, перевезенных на протяжении года;
- другие особые характеристики.

В отношении к области и ее транспортной системе важно исследовать:

- связь аэропорта и порта (речного, морского) с автомобильным движением и МГТ;

- перевозка грузов территорией города автотранспортом, загруженность улично-дорожной сети города подъездными колеями и их пропускная способность, а также загрузка в продолжение дня и года.

Результаты исследования обрабатываются графически или в виде таблиц и является составной частью анализа в генеральном транспортном исследовании области проектирования.

## Тема №8 Методы обследования транспортной подвижности населения

### 1. Методы обследования спроса населения на перевозку

Для изучения спроса населения на перевозку используются **табличный, матричный и учетный** методы обследования пассажиропотоков и корреспонденций (Об утверждении Порядка и условий организации перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом (С изменениями, внесенными согласно Приказа Минтранса N 762 от 05.11.2001)).

**Табличный метод** применяется для обследования пассажиропотоков на напряженных маршрутах мощностью свыше 200 пас./ч. При этом ведется подсчет количества пассажиров, которые вошли в транспортное средство (далее ТЗ) и вышли из него на остановках, учетчиками, которые в нем находятся, с внесением этих данных в маршрутную таблицу (таблица 2 этого приложения). Предварительно в маршрутной таблице отмечается номер маршрута, время отправления ТЗ, названия остановок.

Маршрутные таблицы комплектуются для каждого учетчика в отдельную папку по количеству рейсов, которые подлежат обследованию. На папке отмечаются номер маршрута, двери и время работы учетчика.

Перед проведением обследования каждому учетчику выдается соответствующая папка и индивидуальная информационная карточка (или нарукавная повязка). Учетчикам отводятся места возле каждой двери ТЗ.

Во время проведения обследования на каждый рейс учетчиком заполняется рейсовый листок (таблица 4 этого приложения), который содержит информацию о виде транспорта, номер маршрута, направление движения транспортных средств, время начала и окончания рейса, марку подвижного состава, количество вагонов и вид перевозок.

Обследования проводятся выборочно с моделированием пассажиропотоков и трансформацией их в маршрутные и межрайонные корреспонденции.

Этот метод применяется на городских и пригородных маршрутах. Нормативно-справочная документация маршрутной системы города состоит из маршрутных таблиц, рейсовых листков, характеристики маршрутной системы, перечня остановок и расстояния между ними, характеристики подвижного состава (таблицы 2-7 этого приложения).

**Матричный метод** применяется для обследования маршрутных корреспонденций на маршрутах мощностью пассажиропотоков до 200 пас./ч. Он отличается от табличного тем, что вместо маршрутной таблицы используется маршрутная матрица (таблица 8 этого приложения), в которой учетчиком отмечается количество пассажиров, которые следуют в автобусе (ТЗ) к определенной остановке, по каждому рейсу. Другие условия проведения обследования являются аналогичные к табличному методу.

Во время обработки полученной информации осуществляется моделирование корреспонденций в пассажиропотоки.

Этот метод применяется на пригородных и междугородных маршрутах.

Нормативно-справочная информация маршрутной системы пригородных, междугородных и международных перевозок состоит из рейсовых листков, характеристики подвижного состава, маршрутных матриц, характеристики маршрутной системы пригородных перевозок, расписания движения на пригородном маршруте, таблицы стоимости проезда пассажиров на пригородных маршрутах (таблицы 4, 7-11 этого приложения).

**Учетный метод** определения помаршрутных корреспонденций пассажиров применяется для обработки сведений по проданным на каждый рейс билетов или формуляров (путевых листов), с систематизацией этой информации в помаршрутные корреспонденции и с дальнейшим моделированием пассажиропотоков.

Учетный метод отличается от матричного тем, что маршрутная матрица заполняется не по результатам обследования пассажиропотоков, а во время обработки порейсовых билетно-учетных листов или формуляров (путевых листов) о выполнении нерегулярных международных перевозок.

Этот метод применяется на междугородных и международных маршрутах.

Изучения спроса населения на перевозку осуществляется:

комплексно — на всей городской, пригородной и междугородной транспортной сети — не менее чем один раз в три года;

выборочно — на городских, пригородных, междугородных и международных маршрутах, если пассажиропотоки испытывают значительные изменения;

корректирующе(корректировочно)— на любом маршруте через три-четыре месяца после его открытия.

Материалы изучения спроса населения на перевозку используются для организации рациональной маршрутной системы и ее корректирования; координации работы разных видов пассажирского транспорта; обоснования типа, количества подвижного состава и его распределения по маршрутам; выбора форм организации работы водителей; построения расписаний движения транспортных средств; организации проведения конкурсов на осуществление перевозок пассажиров автомобильным транспортом.

## 2. Методика определения сетевой подвижности пассажиров

Цель определения сетевой подвижности состоит в получении информации о межрайонных корреспонденциях пассажиров для последующей рационализации маршрутной системы городского пассажирского транспорта (ГПТ). Основным используемым методом обследования является экспериментальный. Эксперимент состоит в анкетном опросе пассажиров о транспортных корреспонденциях их поездок. Поэтому данный метод часто называют также анкетным. Анкетирование проводят преимущественно по месту работы пассажиров. Это обеспечивает учет в первую очередь трудовых корреспонденции и наибольший процент возврата годных для последующей обработки анкет. Анкетирование по месту жительства, на остановочных пунктах и в подвижном составе более трудоемко, дает менее точные результаты, в связи с чем не рекомендуется к использованию.

Анкетирование может проводиться только в отношении трудовых поездок или с полным охватом всех поездок в течение дня. Как правило, для разработки маршрутной системы ГПТ используют данные об утренних трудовых корреспонденциях. При этом следует обратить внимание на то, что пассажиры могут перед работой отвозить детей в дошкольные учреждения.

В городах с различными видами ГПТ рекомендуется проводить сплошные обследования, охватывающие все виды транспорта. В противном случае результаты анкетирования не отразят реальной картины из-за наличия дублирующих участков маршрутов автобусного и городского электротранспорта.

Анкетное обследование включает три этапа: подготовительный, обследование, обработку результатов обследования.

1. На подготовительном этапе решаются задачи районирования городской территории, разработки форм и тиражирования анкет, определения состава организаций-участников обследования с распределением между ними функций, финансирования обследования, подготовки контингента учетчиков, проведения разъяснительной работы с руководителями и в коллективах организаций города.

- При районировании городской территории исходят из требований алгоритма разработки рациональной маршрутной схемы (МС). Общее число транспортных микрорайонов (МР) в городе обычно не превышает 100 ед. Ориентировочная площадь территории одного МР около 1 км<sup>2</sup>. При расположении застройки вдоль одной магистрали и обеспечении транспортной связи с остальной городской территорией только по данной магистрали транспортный МР может быть большей площади и располагаться вдоль этой магистрали в соответствии с фактическими границами застройки.

- Форма применяемой анкеты зависит от уровня детализации собираемой при обследовании информации. В качестве типовых рекомендуются формы 5.1 и 5.2. Тираж выпуска данных форм на 10—15 % должен превышать численность анкетизируемого контингента трудящихся и учащихся высших и средних профессиональных учебных заведений. При определении тиража учитывают численность работников организаций города, приезжающих на работу из

пригородной зоны, а также жителей города, работающих в пригородной зоне.

- Состав организаций-участников обследования включает: органы управления городским автобусным транспортом и ГНЭТ (в том числе сами транспортные организации); транспортный орган городской администрации; специализированные проектно-технологические организации. Функции по организации и проведению обследования между этими организациями распределяются следующим образом. Перевозки и орган управления городским электротранспортом во взаимодействии разрабатывают план проведения обследования и определяют отраслевые проектно-технологические организации и вычислительный центр для обработки результатов обследования. Определяют размеры и источники финансирования обследования, заключают соответствующие договоры с организациями, принимающими участие в обследовании на хозрасчетных началах, оперативно регулируют процесс обследования, контролируют своевременное использование результатов обследования на практике. Персонал отделов эксплуатации АТО осуществляет подготовительные работы на части городской территории, обслуживаемой закрепленными за данным АТО маршрутами.

Транспортный орган городской администрации по согласованию с заинтересованными транспортными организациями принимает решение о проведении транспортного обследования в городе с определением задач, работ и сроков их исполнения, определяет порядок финансирования обследования, организует инструктивные совещания, на которых рассматривают организационные и технологические аспекты обследования.

Специализированная проектно-технологическая организация разрабатывает рабочий проект обследования с подробным расчетом необходимых ресурсов, графиком проведения обследования, порядком сбора и обработка анкет, организацией труда учетчиков. Разрабатываются и размножаются памятки по правилам заполнения анкет с разбором различных возникающих ситуаций. Готовый проект обследования апробируют. Для этого предварительно обследуют несколько организаций города. По результатам предварительного обследования в



Анкета обследования транспортной подвижности пассажира

Пол: М Ж

Род занятий: Рабочий Служащий Пенсионер Учащийся Предприниматель Прочее

Возраст, лет: до 18 18–25 26–40 41–50 51–60 Старше 60

Вопрос	Ответ	Шифр для автоматизированной обработки
1. Фактическое место проживания		
2. Адрес места работы		
3. По каким адресам совершаете транспортные поездки перед работой или после работы (детские учреждения и т. п.)		
4. Время начала работы (при сменном режиме записать через дробь)		
5. Затраты времени при поездках на работу, мин		
6. Какими видами транспорта и номерами маршрутов пользуетесь (в порядке пересадок)		

Учетчик \_\_\_\_\_  
(подпись) (расшифровка подписи)

Дата \_\_\_\_\_

Результаты обследования обрабатывают на компьютерах. Обработка включает: ввод исходных данных; расчеты по программе обработки материалов обследования; изготовление необходимого числа выходных форм, содержащих обработанные результаты обследования.

2. Обследование заключается в 100 %-ном анкетировании пассажиров, что дает наиболее полную картину межрайонных корреспонденции. Однако такое обследование отличается высокими трудоемкостью и затратами, ввиду чего фактическая периодичность обследований часто превышает 5 лет. При обследовании используют следующие нормативы:

Трудоемкость заполнения 100 анкет при опросе пассажиров по месту их жительства, нормо-ч .....10

То же, по месту работы (учетчик раздает анкеты, инструктирует и собирает анкеты), нормо-ч..... 3

Коэффициент повышения трудоемкости и стоимости обследования в связи с необходимостью кодирования анкет и вводом информации в компьютер.....1,6

То же, в связи с необходимостью подготовки и инструктажа учетчиков, контроля их работы ..... 1,1

Число учетчиков для проведения обследования определяют делением суммарного числа обследуемых пассажиров на норматив трудозатрат. На каждые 10—15 учетчиков назначают из их числа старшего, в обязанности которого входит организация работы бригады учетчиков. Существенного снижения стоимости обследования можно добиться, если использовать учетчиков, которые являются работниками соответствующих организаций города. Но следует учитывать заинтересованность таких учетчиков в результатах транспортного обследования, в связи с чем данные о потребностях в поездках бывают несколько завышенными. Для организаций города кратковременное отвлечение данных работников от их основных обязанностей оправдывается социальными и экономическими результатами от рационализации маршрутной системы на основе материалов обследования. Сократятся средние затраты времени рабочих и служащих на поездки, уменьшится транспортная усталость и повысится производительность их труда, снизится текучесть кадров, связанная с удаленностью и неудобством сообщения между местом жительства и работы.

При определении потребности в перевозках следует учитывать приезжих, доля которых в городе при прочих равных условиях зависит от его группы по численности населения, и при отсутствии конкретных данных принимается по следующим нормативам:

Группа города	I	II	III	IV	V	50 тыс. жителей
Коэффициент, учитывающий долю приезжих	1,2	1,3	1,5	1,4	1,1	1,07

3. При обработке результатов обследования полученные в ходе обследования анкеты контролируют на годность и одновременно шифруют. При шифровке вместо конкретных адресов указывают номера соответствующих МР. В

ряде случаев применяют вместо адресов и шифров действующую нумерацию почтовых отделений. Это существенно удешевляет обследование, но вносит погрешности, связанные с несовпадением границ обслуживания почтовых отделений с границами транспортных МР. В среднем трудоемкость шифровки 100 анкет с контролем их пригодности для обработки составляет 2 нормо-ч.

Данные вводят в компьютер с предварительным перенесением шифров из анкет на машинные носители. Рекомендуются к использованию магнитные носители, сочетающие компактность и удобство использования. В среднем трудоемкость перенесения данных на машинный носитель в расчете на 100 анкет составляет 1,1 нормо-ч.

Расчеты на компьютере позволяют получить матрицу корреспонденции между отдельными парами МР города как в целом за период обследования, так и по часам суток. При расчетах корреспонденции по часам суток поездки пассажиров учитывают в том часе, в котором поездка была начата, независимо от времени ее окончания. Для расчетов корреспонденции и подготовительных работ (пробное обследование, определение размера выборок по МР) рекомендуется пользоваться специальными программами, увязанными с программой формирования рациональной схемы автобусных маршрутов. Результаты расчетов следует выводить не только на печать для анализа, но и на машинный носитель для последующего использования в расчетах рациональной МС, исключая ручной ввод информации.

Автоматизировать процесс обследования и предварительно обработать получаемые результаты позволяют устройства регистрации корреспонденции пассажиров. Регистратор имеет на верхней панели кнопки, соответствующие номерам микрорайонов города. При нажатии на кнопку регистратор фиксирует соответствующую корреспонденцию. Для учета времени окончания поездки служат часы, управляющие счетчиками корреспонденции отдельных временных периодов. Для информации обследуемых пассажиров о порядке пользования прибором имеется справочная установка, включающая магнитофон-информатор периодического действия и карту города с указанными на ней границами МР.

Регистратор можно подключать через модем к компьютеру (передача информации по стандартным телефонным каналам), что исключает ввод данных вручную с предварительным кодированием информации. Возможен также режим автономной эксплуатации прибора, при котором информация записывается и хранится в самой установке. Другим вариантом автоматизации обследования является непосредственный ввод данных в компьютер.

При обследовании используют форму 5.3. Возможно также применение упомянутого регистратора корреспонденции пассажиров.

Полученные в ходе обследований корреспонденции пассажиров с течением

*Форма 5.3*

**Таблица обследования пассажиропотока глазомерным методом**

Маршрут номер \_\_\_\_\_ Выход номер \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_ День недели \_\_\_\_\_  
 Автобус типа \_\_\_\_\_ Номер \_\_\_\_\_  
 Водители (кондукторы): 1-я смена \_\_\_\_\_, 2-я смена \_\_\_\_\_

Наименование остановочных пунктов	Оценка наполнения в баллах по рейсам, предусмотренным расписанием движения						Итого баллов
	1	2	3	4	...	n	
1.							
2.							
...							
Число проданных в рейсе билетов по билетно-учетному листу							Всего продано билетов _

времени корректируют в связи с изменением в городе демографической ситуации, изменениями в расселении жителей и мест приложения труда, вводом в действие новых районов жилой и промышленной застройки, сооружением новых магистралей, мостов, путепроводов и пр. Такие изменения в информационной базе, используемой для транспортного планирования и организации движения, учитывают с помощью расчетно-аналитических методов.

### 3. Методы определения наполняемости автобусов на остановках маршрута

Объем перевозок по перегонам маршрута (наполняемость на перегонах) определяют одним из экспериментальных методов: глазомерным, силуэтным,

вЕСОВЫМ.

**Глазомерный метод** применяет водитель автобуса, которому перед выездом на линию выдают специальную форму. Находясь на наиболее пассажиронапряженном перегоне маршрута, водитель на глаз оценивает наполнение автобуса пассажирами и выставляет в форме соответствующие баллы: 1 — заняты до половины мест для сидения; 2 — заняты в основном все места для сидения; 3 — заняты все места для сидения и до половины мест для проезда стоя; 4 — автобус заполнен полностью, но посадка еще возможна; 5 — автобус переполнен, наблюдаются отказы в посадке. Обработка полученных от водителей заполненных форм заключается в расшифровке балльных оценок и определении по ним числа пассажиров. Недостатком глазомерного метода является тенденция некоторого завышения наполнения автобусов. Достоинство метода заключается в отсутствии значительных затрат на получение информации. В ряде автоматизированных систем диспетчерского управления движением предусмотрена возможность получения информации о наполнении подвижного состава на отдельных перегонах маршрутов за счет нажатия водителем клавиш, соответствующих глазомерной оценке наполнения салона пассажирами.

**Силуэтный метод** используется при обследовании наполнения автобусов на остановках маршрута. Прошедшие предварительную подготовку учетчики визуально оценивают наполнение автобуса «на просвет» на основе силуэтов шести видов (рис. 3.5). Силуэтам соответствует следующее наполнение автобусов: 1 — предельное наполнение автобуса из расчета 8 пасс, и более на 1 м<sup>2</sup> площади пола салона; 2 — наполнение, соответствующее нормативу 5 пасс, на 1 м<sup>2</sup> площади пола салона; 3 — наполнение среднее между тем, которое соответствует 2 и 4 силуэтам; 4 — места для сидения полностью заняты; 5 — занято около 2/3 мест для сидения; 6 — занято не более 1/3 мест для сидения. При обследовании учетчик записывает в форму (см. рис. 3.5) время прохождения



силуэтом 3. Пользуясь , рис. 3.5, б, устанавливаем, что для этих автобусов число перевезенных пассажиров составляет: для двух автобусов с силуэтом 1 — 230 пасс, для трех автобусов с силуэтом 3 — 159 пасс, т.е. всего 389 пасс.

Число задействованных в обследовании учетчиков определяется числом остановочных пунктов, одновременно охваченных обследованием, с учетом резерва 5 %.

**Весовой метод** подсчета наполнения салона пассажирами предусматривает использование датчиков, смонтированных на пневморессорах автобуса. Датчики формируют сигналы, пропорциональные массе пассажиров, находящихся в автобусе. Средняя масса одного пассажира принимается равной 70 кг.

В общем случае для получения достоверной информации о наполнении в пределах каждого временного периода обследования, (например, 1 ч) наблюдение проводят в течение не менее чем! 60 % длительности периода с последующим пересчетом результатов на весь рассматриваемый период. Это обеспечивает погрешность в пределах  $\pm 5$  %. Длительность периода в часы пик следует принимать не более 15 мин.