

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ КИБЕРНЕТИКИ им. В. М. ГЛУШКОВА

А.А.Бакаев, В.И.Гриценко,  
Л.И.Бажан, В.И.Попченко

**ЭКОНОМИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
РАЗВИТИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ  
СИСТЕМ**

И.З.З. 2017 Киев

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 1991

УДК 330.115

**Экономико-математическое моделирование развития транспортных систем** / Бакаев А. А., Гриценко В. И., Бажан Л. И., Попченко В. И.; Отв. ред. Шор Н. З.; АН Украины. Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова.— Киев : Наук. думка, 1991.— 152 с.— ISBN 5-12-002349-5.

В монографии рассмотрены теоретические подходы и практические методы моделирования транспортных систем, особенности использования математического аппарата при исследовании их развития и функционирования. Рассмотрены принципы и проблемы системного моделирования и описаны математические модели различных уровней управления транспортом общего пользования.

Изложена методика оптимального развития материально-технической базы автомобильного транспорта, базирующаяся на динамическом подходе при определении вариантов развития базы. Приведены алгоритмическое и программное обеспечения методики.

Предложены информационные технологии, поддерживающие соответствующие модели.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников, занимающихся математическим моделированием транспортных систем, на аспирантов и студентов, которые могут ее использовать в качестве учебника по экономико-математическому моделированию.

Ил. 8. Табл. 6. Библиогр.: с. 146—149 (75 назв.).

Ответственный редактор *Н. З. Шор*

*Утверждено к печати ученым советом  
Института кибернетики им. В. М. Глушкова АН Украины*

Редакция физики и кибернетики

Редактор *В. Г. Федоренко*

3201010000-385 470-91  
M221(04)-91

**ISBN 5-12-002349-5**

© А. А. Бакаев, В. И. Гриценко,  
Л. И. Бажан, В. И. Попченко, 1991

## ВВЕДЕНИЕ

Существенное влияние на региональное развитие транспортной системы по обслуживанию населения оказывают особенности личного потребления, характер взаимодействия материального производства и сферы услуг.

Транспортно-бытовые услуги характеризуются особенностями, присущими услугам как экономической категории и вместе с тем свойственными только транспорту как особой отрасли материального производства. Вид перевозимых грузов, вероятностный характер поступления заявок на их перевозку, марочный состав автотранспортных средств и работоспособное их состояние определяют потребность в балансировании имеющихся во времени потребностей населения в перевозке грузов по видам оказываемых услуг (объемы перевозок) и выделяемых провозных возможностей (автомобиле-тонно-часы).

Формирование в регионе структуры парка автотранспортных средств, в наибольшей степени отвечающей потребностям населения в перевозке грузов и позволяющей полнее и эффективнее использовать ресурсы, выступает в качестве варианта балансирования потребности, поэтому данные проблемы в настоящее время выдвигаются в число наиболее актуальных. Решению их может способствовать применение новых целостных технологий моделирования и оптимизации.

Для определения рациональной структуры парка в последнее время широко используются статистические модели и методы линейного программирования. Применение же методов динамического программирования для рационального планирования и организации работ автотранспортных средств по бытовому обслуживанию населения находится в начальной стадии, а отсутствие научных и методических разработок, иллюстрирующих различные приемы последовательного отсеивания вариантов в процессе конструирования решений, тормозит их практическое использование.

Сложность проблемы развития региональной системы автомобильного транспорта общего пользования и ее связи с оптимальным использованием подвижного состава обуславливает необходимость совершенствования методов и моделей планирования ее развития и функционирования. Основным при этом является переход от детерминированного подхода к вероятностному, что открывает дополнительные возможности повышения качества плановых решений. Использование оптимизационного экономико-математического моделирования для развития и функционирования региональной системы автомобильного транспорта позволяет построить совокупность вариантов планов, допустимых при принятых условиях и ограничениях. Проанализировав эти варианты, можно отыскать наиболее эффективные. В связи с имеющимся предложением о детерминированности исходных условий оптимизационные модели теряют некоторую долю адекватности. Используя для формирования плана развития и функционирования системы ТСОИ, в некотором регионе информация оказывается недостаточно достоверной и подчас неполной по многим причинам, а именно из-за:

невозможности достаточно полного анализа необходимых объемов ресурсов:

несоответствия уровня научно-технического решения достигнутому развитию исследуемого объекта системы;

несовершенства системы планирования;

изменения целевых установок директивных органов в области планирования.

Поэтому включение в оптимизационную модель технико-экономических показателей автотранспортного предприятия и технологии их функционирования фактически имеет заведомо вероятностный характер. Поскольку неопределенность и вероятностный характер информации вносят отклонения в функционирование рассматриваемой системы, а фактические условия реализации планов перевозок и развития автотранспортных предприятий совместно с формированием автомобильного парка отличаются от предусмотренных в перспективном плане уровней эффективности, для оценки качества планов одних показателей эффективности недостаточно.

Основное внимание авторы монографии уделили методологии и методике описания и анализа планирования развития и функционирования транспортной системы по бытовому обслуживанию населения. Основываясь на результатах фундаментальных исследований ведущих ученых в области

экономико-математического моделирования, они изложили методику, пригодную для решения практических задач.

В предлагаемой читателю монографии представлен ряд динамических экономико-математических моделей оптимизации развития транспортной системы по бытовому обслуживанию населения, учитывающих вероятностно-неопределенные аспекты, характерные для данной системы.

Основные положения проиллюстрированы примерами практических расчетов, графиками и описанием последовательности расчета.

В монографии приняты следующие сокращения:

АТП	— автотранспортное предприятие
ТЭП	— транспортно-эксплуатационное предприятие
АПС	— автотранспортные подвижные средства
ТПО	— транспортно-производственное объединение
АТУ	— автотранспортное управление
ТЭА	— транспортно-экспедиционное агентство
ТСОН	— транспортная система по обслуживанию населения
ОПФ	— основные производственные фонды
ИКТП	— институт комплексных транспортных проблем
НИПИАТ	— Научно-исследовательский проектный институт автомобильного транспорта
БелНИИАТ	— Белорусский НИИ автомобильного транспорта
ВНИИСИ	— Всесоюзный НИИ системных исследований
НАМИ	— Научный автомобильно-моторный институт
ЭНИИ	— Экономический НИИ.

**ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ  
ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

**1.1. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ  
ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ**

Функционирование транспорта в современных условиях поставило перед наукой и практикой ряд проблем планирования его развития. Общим в них является необходимость одновременного повышения научного уровня планирования как отрасли в целом, так и ее подотраслей и их предприятий. Это обусловлено рядом тенденций научно-технического и социально-экономического прогресса на транспорте:

повышением сложности и разнообразия всех без исключения элементов перевозочного процесса;

изменением уровня потенциального транспортного обслуживания региона или страны в целом, технологии и организации перевозок;

внедрением средств и методов информационных технологий, обеспечивающих целенаправленную обработку информации в соответствии с требованиями обслуживаемых функций планирования.

В современной методологии исследования развития отраслей важное место занимают методы, опирающиеся на рассмотрение отрасли как системы. В практику вошло следующее определение системы [1, 2]: «...под системой понимается наличие множества объектов с набором связей между ними и между их свойствами, т. е. все состоящее из связанных друг с другом частей называется системой...»

Объект рассматривается «как единство взаимосвязанных элементов, совместно действующих для достижения общей цели». Объекты, связанные между собой в процессе функционирования, налагают друг на друга взаимные ограничения. Такая их взаимосвязь приводит к тому, что любое изменение элемента в одном из объектов вызывает изменение в ряде других. Это и придает системе характер целостного образования.

Понятие системы как понятие о целом используется для того, чтобы: четко сформулировать цель и правильно сфор-

мулировать проблему, выбрать объективный способ анализа перевозочных процессов; отобрать комплекс методов и средств, при помощи которых можно достичь поставленной цели; определить ресурсы, необходимые при использовании системы; построить модель, т. е. ряд зависимостей между целями, средствами их достижения и ресурсами.

Определим основные понятия, характеризующие функционирование системы. Она функционирует во времени, каждый момент времени находится в одном из возможных состояний. Состояние системы описывается некоторым набором параметров. Последовательность состояний на всем исследуемом отрезке времени задает траекторию ее развития. Однако при рассмотрении конкретной цели функционирования различных объектов специалисты обычно ограничиваются рассмотрением какого-то одного (наиболее общего) их элемента, как это описывается в работе [3].

В качестве элемента, характеризующего деятельность транспорта, можно принять, например, транспортные средства. Исходя из этого под транспортной системой по обслуживанию населения будем понимать целостное множество различных видов автотранспортных средств, транспортно-экспедиционных и автотранспортных предприятий, находящихся во взаимной зависимости и взаимодействии при выполнении перевозок грузов.

Включение этих объектов позволит, как нам кажется: свести большой объем технико-экономической информации, характеризующей работу транспортной системы по обслуживанию населения (АТП, ТЭП, АПС), к информации, отражающей результат их взаимодействия, направленного на наиболее полное удовлетворение заказов на перевозку грузов;

отразить взаимосвязь предприятий и автотранспортных средств (объемов перевозок, количественных и качественных параметров автомобилей) и осуществить на этой основе системный подход к планированию;

агрегировать расчеты для различных объектов.

Термин «транспортная система» будем употреблять применительно к региону или крупному городу.

Состояние транспортной системы определим как множество значений важных характеристик, которыми обладают автотранспортные средства. Множество возможных состояний системы определяется самой транспортной системой по обслуживанию населения и связями ее с внешней средой. В качестве внутренних условий развития транспортной системы выступают особенности сложившейся региональной сферы транспортно-бытовых услуг, имеющиеся в ней

диспропорции и проблемы, качественная характеристика автотранспорта и т. п.

Структура транспортной системы по обслуживанию населения определяется процессом выделения ее подсистем. Каждую подсистему можно рассматривать как самостоятельную систему, состоящую из более простых образований. Под способами функционирования транспортной системы понимаются процедуры, в соответствии с которыми каждая из подсистем организационной структуры достигает решения возложенных на нее задач.

Распределение ограниченных автотранспортных ресурсов под планируемые объемы перевозок по номенклатуре услуг, оказываемых населению, может рассматриваться как центральная функция планирования перевозок.

На рис. 1 указаны основные задачи ( $P_1, \dots, P_N$ ), которые возникают в системе при ее функционировании:

- рационального использования автотранспорта;
- перераспределения автотранспорта;
- формирования номенклатуры услуг ( $Y_1, \dots, Y_m$ ) по транспортному обслуживанию населения;
- определения соответствия спроса на услуги предложению.

Успешное решение этих проблем с учетом их взаимосвязи во многом определяет устойчивое функционирование системы.

Связанные между собой подсистемы в процессе функционирования изменяют состояния, образуя развивающуюся транспортную систему по обслуживанию населения.

Направления развития транспортной системы по обслуживанию населения охватывают три основные взаимосвязанные подсистемы: экспедиционного обслуживания; транспортного обслуживания и подсистему, обеспечивающую работоспособность подвижного состава. Если первая подсистема требует внимания по линии организации процесса обслуживания населения по заявкам, то две другие — фундаментального развития для обеспечения выполнения заказов населения при перевозке грузов.

Подсистема транспортного обслуживания населения довольно инерционна относительно изменений в структуре парка автотранспортных средств. Таким образом, возникает необходимость рассчитать план ее развития, который охватывал бы достаточно большой промежуток времени, например от 5 до 15 лет. То есть возникает необходимость разработки плана развития на трех уровнях одновременно с определением истинных объемов перевозок, которые составляют основу заключения договоров на транспортное обслу-



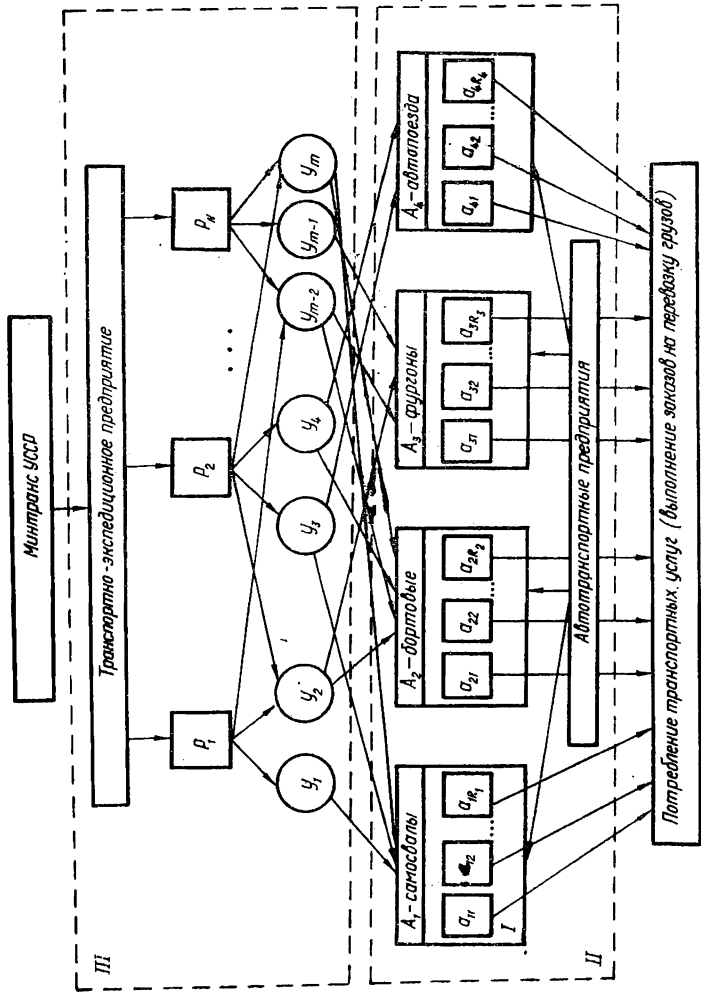


Рис. 1. Модель функционирования транспортной системы

живание. Причем переход к оптимальной структуре грузового автопарка должен произойти при периоде планирования от 5 до 10 лет.

Планирование и реализация транспортно-бытовых услуг по перевозке грузов населению осуществляются в Министерстве транспорта УССР, службах и экономических группах ТПО «Киевгоравтотранс» и соответствующих отделах ТЭП. Планы разрабатываются: перспективные, определяющие генеральную линию развития транспортной системы на пятилетний период и более; текущие, устанавливающие объемы перевозок грузов по заявкам населения на календарный год, они разрабатываются на базе пятилетних планов: оперативные, которые содержат конкретные задания по реализации услуг в квартал и месяц. Эти подразделения систематически решают ряд вопросов планирования реализации услуг, которые для удобства рассмотрения целесообразно свести к следующим основным комплексам задач: изучению тенденции спроса на услуги по транспортному обслуживанию; определению объема транспортных услуг и необходимых для их выполнения трудовых и материальных ресурсов; развитию и использованию парка автотранспортных средств и его производственно-технической базы; определению уровня обеспеченности подвижным составом; распределению автотранспортных средств по видам оказываемых услуг и т. п.

При планировании необходимо учитывать взаимосвязи указанных задач. Каждая из них представляет собой определенный этап, базируется на предыдущих результатах и уточняется на последующих этапах планирования транспортно-бытовых услуг. Планирование имеет целью определить условия, при которых наилучшим образом удовлетворится потребность населения в услугах по перевозке грузов в сочетании с эффективным использованием ресурсов транспортной системы по бытовому обслуживанию, что выражается соответствующими экономическими показателями.

На рис. 2 представлена схема планирования развития перевозки грузов, устанавливающая порядок прохождения информации о потребностях в перевозках и возможностях их удовлетворения.

Рассматривая основные проблемы планирования развития транспортной системы, необходимо учитывать следующие специфические особенности ее функционирования.

Первая состоит не только в большом количестве элементов, но и в характерном для них многообразии и взаимообусловленности связей. Услуги по транспортному обслужи-

ванию населения тесно связаны с сезонностью, наличием товаров, материалов и т. п.

Вторая особенность — ее динамичность. Система характеризуется динамикой текущих затрат, используемых ресурсов и их совокупностью.

Третья заключается в вероятностном характере спроса и оказания транспортно-бытовых услуг.

Теснейшая взаимозависимость и взаимосвязь элементов транспортной системы по обслуживанию населения и всех ее факторов вызывают необходимость использования принципов планирования, учитывающих взаимодействие и координацию всех ТЭП и АТП системы рассматриваемого региона.

Таким образом, транспортная система по обслуживанию населения может быть отнесена к сложным системам со следующими основными признаками [4]:

наличием большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих АТП, ТЭП и автотранспортных средств;

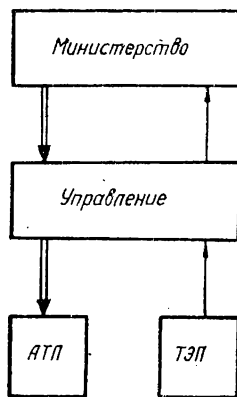
сложностью функции, выполняемой системой и направленной на осуществление перевозок грузов по заказам населения;

возможностью разбиения системы на подсистемы (технологическую, территориальную, производственную и т. п.);

информационной замкнутостью системы (решения выбираются на основе информации о текущем состоянии отрасли);

наличием взаимодействия с внешней средой и функционированием в условиях воздействия случайных возмущений в самой системе.

Если учесть разбросанность автотранспортного хозяйства по территории региона, массовость его автотранспортных средств, взаимосвязь и взаимодействие всех элементов его объектов, то можно утверждать, что транспортная система по обслуживанию населения представляет собой не только



→ 1

⇔ 2

Рис. 2. Схема планирования перевозок грузов:  
1 — проект плана; 2 — план.



Рис. 3. Основные функции транспортной системы по обслуживанию населения

сложную экономическую, но и огромную динамическую систему часто с неопределенными и альтернативными связями с отраслями сферы услуг.

Процесс реализации алгоритмов по планированию развития и функционирования ТСОИ можно представить в виде ряда последовательных этапов (рис. 3). На первом этапе планирующий орган прогнозирует объем перевозок как в целом, так и по видам услуг, а также развитие структуры парка автотранспортных средств, анализирует тенденции развития и оценивает их влияние на перспективное развитие системы.

Планирующий орган получает информацию от самих элементов, которые имеют широкие возможности для ее представления. Поэтому на втором этапе формируются данные, планирующий орган получает дополнительную информацию об элементах системы и передает ее соответствующим службам для обработки, анализа и выработки решений.

Третий этап функционирования системы — этап планирования. Планирующий орган в соответствии с имеющейся информацией о потребностях и возможностях (объемы перевозок грузов населения в исследуемом регионе, провозные возможности парка автотранспортных средств) для формирования планов разбивает функционирование системы на ряд периодов, в каждом из которых процессы составления планов аналогичны. Перед планирующим органом всегда стоит вопрос выбора наиболее приемлемой процедуры планирования развития транспортной системы по обслуживанию населения, способствующей повышению качества услуг и интенсивности использования автотранспортных средств.

Четвертый этап функционирования транспортной системы — этап реализации. Составленный планирующим органом план перевозок грузов в процессе выполнения подвергается учету и анализу. Учет представляет собой регистрацию параметров системы, полученных в процессе ее функционирования, а также регистрацию полученной информации, ее обработку и передачу соответствующим службам. Анализ включает исследование условий, факторов и ресурсных возможностей функционирования системы и направлен на определение степени и полноты реализации плана.

Планирующий орган отражает в плане желаемое состояние системы и ее элементов, способное наиболее полно удовлетворить заказы населения на перевозку грузов. При этом план содержит информацию не только о будущем состоянии, но и об определенной траектории развития, которой должна следовать транспортная система в планируемом периоде. Поскольку желаемое состояние транспортной системы

может быть достигнуто различными способами функционирования, то всегда имеются конечные цели, задающие множество траекторий ее развития.

Число возможных вариантов плана развития транспортной системы по обслуживанию населения бесконечно. Поскольку объективная цель плана состоит в получении показателей функционирования транспортной системы, обеспечивающих удовлетворение населения в перевозках грузов, то практически требуемыми пределами точности плановых расчетов можно считать их влияние на показатели уровня жизни в размере не менее 0,1 % [5], но и в этих пределах точности число вариантов плана огромно. Достаточно учесть, что только колебания марок автомобилей в транспортной системе (от 4 до 20 и более), а также различная величина пробега их с начала эксплуатации обуславливают необходимость составления более 400 вариантов.

Следовательно, объективно существующее число вариантов плана даже при минимально необходимом количестве планируемых параметров требует использования современных средств моделирования.

Реализация элементами определенных состояний ТСОИ дает возможность оценить соответствие достигнутых значений по выполненным объемам перевозок желаемым состояниям. Это позволяет осуществить анализ эффективности выполнения транспортной системой своих функций по оказанию услуг населению.

Для количественной оценки необходим экономико-математический инструментарий, позволяющий проводить многовариантные расчеты параметров развития транспортной системы региона.

Таким образом, планирующий орган должен быть обеспечен комплексом моделей развития и функционирования транспортной системы при принятии решений.

## **1.2. КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ**

Принятие плановых решений характеризуется большой сложностью и ответственностью, так как они предопределяют тенденцию развития отрасли. Поэтому возникает необходимость качественной оценки предполагаемых решений. Правильный выбор вариантов может быть сделан путем сопоставления нескольких возможных решений по ряду технико-эксплуатационных и экономических показателей. Из нескольких возможных вариантов приемлемым будет тот, который дает больший экономический эффект. В зависимо-

сти от имеющейся экономической информации и постановок задач применяется тот или иной метод экономического сравнения вариантов [6, 7].

Наиболее распространен на практике критерий максимума прибыли. Однако использование его в расчетах в связи с отклонением действующих цен от оптимальных чревато определенными погрешностями. Более того, под сомнение может быть поставлена сама возможность таких расчетов, поскольку в настоящее время система транспортно-бытового обслуживания населения не имеет специализированного парка автотранспортных средств и производственных мощностей для его содержания. Поэтому если ограничиться включением в критерий оптимальности показателей «прямого» дохода от ТЭП, то при сравнении по критерию максимума прибыли плановых вариантов оптимальным автоматически окажется вариант с нулевым объемом услуг по перевозке, поскольку все прочие будут давать отрицательную разность доходов и затрат на создание специализированного автопарка.

Таким образом, если подходить к оценке деятельности предприятий транспортной системы по обслуживанию населения с «локальных хозяйственных позиций», т. е. с точки зрения их прибыльности в рамках действующей системы цен, то ни о каком положительном эффекте от их развития в плановом периоде говорить не приходится. Картина коренным образом меняется при оценке их с точки зрения социально-экономической эффективности. Последовательное соблюдение принципа выбора плановых решений для отрасли связано с учетом в составе критерия оптимальности не только показателей «прямого» дохода и затрат предприятий, но и, хотя бы по приближенным оценкам, всех положительных и отрицательных эффектов для социально-экономической системы в целом.

В критерии оптимальности представляется крайне целесообразным учитывать два фактора. Во-первых, необходимо хотя бы приблизительно оценивать тот ущерб, который несет общество от неудовлетворения потребностей в транспортных услугах. Включение этой оценки для различных вариантов развития транспортной системы по обслуживанию населения в плановом периоде в качестве отрицательных последствий при реализации вариантов с меньшим уровнем развития производственных мощностей является методологически правильным. Заметим также, что оно уже не делает бессодержательной постановку задач с варьируемыми «выходными» показателями деятельности оптимизируемых объектов, поскольку с увеличением планируемых объемов

перевозок по видам услуг данная отрицательная компонента уменьшается.

Во-вторых, необходимо оценивать сбережения или потери свободного времени населения в зависимости от реализации того или иного варианта развития транспортной системы. К сожалению, в настоящее время необходимая информация отсутствует, и такую оценку учитывают в процессе принятия плановых решений для предприятий транспортной системы по обслуживанию населения лишь в теоретическом плане.

Хотя вопрос об экономической оценке свободного времени и необходимости учета его в развитии отраслей сферы неоднократно поднимался в печати [8, 9], методология получения и особенно методика ее использования в практике планирования, в том числе задачах оптимизации развития отраслей, в настоящее время еще не разработана.

Для сравнения вариантов плана развития транспортной системы по обслуживанию населения с поэтапным капиталовложением в ее развитие и изменяющимися эксплуатационными расходами предприятий нам представляется более целесообразным проведение оптимизационных расчетов по минимуму суммарных приведенных затрат за весь срок сравнения вариантов с учетом их неравноценности во времени.

Сумма приведенных затрат по каждому из вариантов определяется следующим образом:

$$\mathcal{F}_T = \sum_{t=1}^T (K_t + \mathcal{E}_t) \eta^t, \quad (1.2.1)$$

где  $K_t$ ,  $\mathcal{E}_t$  — соответственно капиталовложения и эксплуатационные расходы в год  $t$ ;  $\eta^t = \frac{1}{(1 + E_{Hn})^t}$  — коэффициент приведения;  $E_{Hn}$  — норматив приведения;  $t$  — число лет, отдаленных затраты и результаты исследуемого года от начала расчетного.

В основе метода лежат соизмерение экономической неравноценности затрат разных лет и приведение их к исходному году через коэффициент приведения затрат  $\eta^t$ , учитывающий уменьшение экономической значимости расходов более поздних лет.

Завышение оценки эффективности результатов возможных решений может привести к неоправданно высоким капиталовложениям в развитие транспортной системы без получения реальной отдачи, и наоборот, ошибки в сторону занижения могут затормозить внедрение мероприятий по



маршированию производственных мощностей, которые могут оправдать себя за сравнительно короткий срок.

Погрешность результатов анализа при выборе наиболее экономичного варианта вызывается не только существованием большей или меньшей погрешности в исходных данных или неполнотой сведений об их истинных значениях, но и структурой используемых расчетных формул.

Отсутствие в формуле (1.2.1) показателя цен на оказываемые услуги по перевозкам грузов населения при выборе вариантов обеспечивает более высокую точность результатов в условиях варьирования исходными данными. А поскольку относительная погрешность результата при выборе по методу суммарных приведенных затрат наиболее эффективного варианта не превосходит предельной величины относительной погрешности исходных данных, то значение экономической эффективности может быть вычислено с достаточной степенью точности по формуле (1.2.1).

Убедительное обоснование пользы оптимизации отраслевых плановых решений по минимуму затрат базируется на большом опыте решения практических задач автомобильного транспорта. Реализация показала, что критерий оптимизации отраслевых задач достигает соответствия народнохозяйственному оптимуму в случае минимизации затрат [10].

### 1.3. КРАТКИЙ ОБЗОР ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Одна из важнейших задач транспорта — обеспечение эффективного развития, сильно различающегося по сочетанию экстенсивных и интенсивных факторов и взаимодействию всех региональных транспортных систем в единой транспортной системе страны.

Сущность экономико-математического моделирования развития транспортной системы по обслуживанию населения заключается в нахождении адекватного отражения процесса с помощью математического описания. Для этого используются различные группы экономико-математических моделей, которые применительно к задачам развития транспортной системы по обслуживанию населения могут быть определенным образом классифицированы.

По степени охвата объекта моделирования экономико-математические модели развития транспортных систем можно характеризовать как глобальные и локальные. При их построении следует учитывать функциональные признаки системы: потребность в автотранспортных средствах для

выполнения заявок населения на перевозку грузов; сложившуюся структуру парка автотранспортных средств для обслуживания заказов населения; производственно-техническую базу и др.

Экономико-математические модели, отображающие развитие транспортных систем, по учету фактора времени подразделяются на статические или динамические, долго- и среднесрочные, текущие и оперативные.

Абсолютное большинство практических задач развития транспортных систем относится к динамическим. Соответственно и модели, описывающие такие задачи, являются динамическими, в которых входные параметры, состояние и выходные параметры зависят от фактора времени.

Поскольку в каждый рассматриваемый момент времени на транспортную систему по обслуживанию населения влияют многие случайные факторы (потребности населения в различных видах услуг по транспортному обслуживанию, материально-техническая база транспортно-экспедиционного обслуживания, выпуск автомобильного транспорта промышленностью, сроки эксплуатации автомобилей и т. п.), то и модель, описывающая ее, должна быть стохастической. Однако в практических работах по моделированию развития транспортной системы весьма часто представляется с помощью детерминированных элементов, т. е. для упрощения сущности задачи допускают замену случайных величин их математическим ожиданием. Таким образом, по степени отражения неопределенности экономико-математические модели можно охарактеризовать как детерминированные и стохастические. В детерминированных все значения параметров, характеризующие и определяющие развитие транспортной системы, принимаются достоверными. По своему назначению модели могут быть описательными и оптимизационными. В каждой из оптимизационных моделей имеется критерий оптимизации целевой функции. Применительно к задачам развития транспортной системы почти исключительно применяются оптимизационные модели. Используя их при планировании развития системы, можно найти параметры, определяющие экстремальное значение критерия. Оптимальность планирования отражает процесс перехода от одного допустимого варианта плана к другому, более эффективному по выбранному критерию. В результате определяется самый оптимальный вариант плана.

По виду математических соотношений экономико-математические модели, использующиеся при решении задач развития транспортных систем, подразделяются на линейные и

**нелинейные.** По возможности стараются формулировать условия в линейном виде даже за счет некоторого увеличения погрешности в полученных результатах. Это делается потому, что решение линейных задач намного проще, чем нелинейных.

Следует отметить, что перечисленные основные черты каждого класса моделей проявляются не в чистом виде, а в некотором комплексе. Поэтому каждая экономико-математическая модель, характеризующаяся некоторыми признаками, относится к определенному типовому комплексу. В общем случае транспортная система является сложной, динамической, стохастической, нелинейной.

За последние годы в нашей стране накоплен значительный опыт применения математических методов, моделей и средств вычислительной техники в практике планирования [10—16]. Краткий обзор опыта приведен в [17].

Учитывая, что важнейшими объектами транспортной системы являются парк автотранспортных средств и его производственно-техническая база, остановимся на экономико-математических моделях, позволяющих рассмотреть состояние планирования их развития более подробно. Возрастающие объемы перевозок и требования эффективного использования автомобильного транспорта в крупных регионах накладывают определенные ограничения на формирование структуры парка автотранспортных средств, выполняющих перевозки по заказам населения. Численность подвижного состава, его структура и производственно-техническая база — взаимосвязанные подсистемы единой транспортной системы. Структура парка автотранспортных средств изменяется в зависимости от объемов транспортной работы и номенклатуры видов услуг по перевозке грузов. Она характеризуется средним возрастом парка, средней грузоподъемностью и численностью автомобилей, специализацией их по типу кузова, количеством тягачей и прицепов, работающих по сдельным расценкам, уровнем дизелизации, годовым пробегом автомобилей.

Высокий уровень затрат на перевозки грузов автомобильным транспортом, вызванный нерациональной структурой парка автотранспортных средств,— один из главных факторов, сдерживающих развитие автомобильного транспорта в СССР.

Несовершенство структуры грузового парка автотранспортных средств не только увеличивает затраты на содержание автомобильного транспорта, но и ведет к перерасходу трудовых и энергетических ресурсов. Рационализация структуры и численности парка позволит разработать мероприя-

тия по дальнейшему совершенствованию перевозочного процесса, повысить его производительность, сократить транспортные издержки. Рационализация структуры осуществляется в основном за счет получения новых автотранспортных средств выпускаемых и запланированных к производству марок и модификаций. Методический подход к ее определению предложен в [18, 19]. Методика позволяет определить совокупность подвижного состава, обеспечивающего наиболее полное и качественное удовлетворение потребностей народного хозяйства в автомобильных перевозках с минимальными затратами. При расчете структурного состава автомобильного парка выделяются следующие уровни.

**Территориальный** (региональный) — для отдельных регионов объединяет планирование потребности в автотранспортных средствах на базе норм и нормативов, регламентирующих работу автомобильного транспорта в регионе.

**Отраслевой** — представляет планирование потребности в автотранспортных средствах для освоения перевозок грузов различных отраслей материального и нематериального производств.

**Функциональный** — предусматривает потребность в автотранспорте ведомственного и общего пользования, сгруппированного по функциям деятельности на основе предварительного определения сферы его целесообразного применения с учетом специализации и типа кузова: бортовые, самосвалы, фургоны.

**Типоразмерный** — соотношение в структуре парка количества автотранспортных средств по грузоподъемности, планируемое на основе выбора автотранспортных средств в сфере их целесообразного использования.

**Возрастной** — определяет состав парка в соответствии со сроком службы подвижного состава.

При формировании рациональной структуры парка необходимо учитывать: грузоподъемность автомобилей; тип кузовов для соответствующей номенклатуры перевозок по родам грузов; максимально допустимые осевые нагрузки автотранспорта применительно к характеру складывающейся сети автодорог; возрастной состав и марки автомобилей; типы двигателей исходя из ограничений на различные энергоресурсы; охрану окружающей среды. Методические вопросы совершенствования структуры парка автомобильного транспорта общего пользования по группам грузоподъемности изложены в [19, 20].

Обоснование [10, 21, 22] рациональной структуры парка автотранспортных средств по группам грузоподъемности

требует рассмотрения следующих факторов: вид груза; его стоимость; срочность доставки; партионность перевозки; условия погрузки, разгрузки и складирования; дорожные и природноклиматические условия. Значения факторов выявляются за базисный период и прогнозируются на заданную перспективу. Перспективные значения периодически корректируются с последующим уточнением необходимой численности и структуры грузового парка автотранспортных средств.

Обоснование рациональной структуры грузового парка общего пользования в соответствии с перспективной структурой и условиями грузовых перевозок проводится на длительный период планирования с тем, чтобы автомобильная промышленность могла обеспечить достаточное количество типов и марок автомобилей для ее формирования.

При оптимизации структуры парка автотранспортных средств необходимо учитывать классификацию грузов и основные направления развития автомобильных перевозок. Разработанные принципы классификации предусматривают их деление по 16 основным факторам, влияющим на выбор соответствующих конструкций автомобилей [19].

Объем и структуру грузов, подлежащих перевозке автомобильным транспортом общего пользования, предлагается определять исходя из системы норм и нормативов, обеспечивающей научную обоснованность, пропорциональность, сбалансированность планов перевозок, более глубокое выявление и использование резервов парка автомобилей, дальнейшее повышение его эффективности. Все соответствующие показатели вычисляются по нормативной базе, прогнозируемой на расчетную перспективу [23].

Различные способы определения оптимальной структуры парка под каждую группу грузов изложены в [24, 25], при этом приводятся некоторые формализованные решения задач с использованием математического аппарата. В качестве критерия выбран показатель затрат на доставку и хранение грузов. В работе [26] предлагается оценивать обеспеченность АТП автотранспортными средствами под заданную классификацию грузов по структурному коэффициенту, представляющему собой отношение объема груза, обеспеченного соответствующим типом автотранспортных средств, к общему объему груза, подлежащего перевозке парком автомобилей АТП. При расчетах авторы не используют аппарат экономико-математического моделирования.

Стремление учесть как можно больше факторов в модели, безусловно, повышает ее адекватность реальным условиям эксплуатации парка автотранспортных средств, но

также усложняет вычислительную процедуру. Поэтому очень важно найти компромисс с тем, чтобы постановка задачи соответствовала имеющимся вычислительным методам и возможности математического и программного обеспечения ЭВМ, а введенные в модели упрощения обеспечивали необходимую точность решения задачи по выбранному критерию эффективности. Оптимальные размеры и структура парка автотранспортных средств могут быть получены из решения соответствующих задач, описываемых моделями линейного программирования [27, 28], с некоторым упрощением. Модель линейного программирования отражает экономическую ситуацию, при которой парк состоит из автомобилей одной грузоподъемности, эксплуатирующихся без капитального ремонта. Вопрос об оптимальной структуре парка по грузоподъемности отпадает. В этом случае устанавливаются размер парка и возрастной состав автомобилей. Текущие эксплуатационные затраты на автомобиль  $t$ -го срока службы минимизируются при условии выполнения планового объема перевозок и распределения автомобилей по срокам службы в интервале  $t - 1$ .

Таким образом, математическая модель статической оптимизации объема и возрастной структуры парка позволяет определить плановый срок службы автомобилей. Задача в изложенной постановке решается симплекс-методом линейного программирования. При решении двойственной задачи можно получать двойственную оценку единицы спроса на перевозки автомобилями всех сроков службы, вошедших в оптимальный план, которая интерпретируется как цена автомобиля. В модели не нашли отражения такие факторы, как распределение спроса на перевозку по партионности, наличие в структуре марок автомобилей различной грузоподъемности, влияние капитального ремонта автомобилей на воспроизводство провозной способности парка.

Формирование рациональной структуры парка требует рассчитывать потребность в автотранспортных средствах на планируемый период. Планирование потребности производится на текущий и перспективный периоды времени по двум основным показателям перевозок грузов: объемам перевозок (в тоннах) и грузообороту (в тонно-километрах).

Если необходимо учесть территориальные условия грузополучателей и грузополучателей при обосновании потребности в автотранспортных средствах, в качестве основного показателя принимается грузооборот [25]. Он рассчитывается методом прямого счета как произведение объема перевозок грузов на расстояние или расчетным путем через технико-эксплуатационные и экономические показатели.

Для определения численности и структуры грузового парка автотранспортных средств в любом предстоящем году, на который производится планирование с учетом дифференцированных данных о распределении объема перевозок по видам грузов, можно использовать следующее выражение [19]:

$$\sum_{r=1}^R \mathcal{A}_{rt} = \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M Q_{mst} / \omega_{rst}, \quad t = \overline{1, T},$$

где  $s = \overline{1, S}$  — груз или группа грузов, по свойствам которых возможна совместная перевозка;  $r = \overline{1, R}$  — автотранспортные средства, сгруппированные по грузоподъемности;  $\mathcal{A}_{rt}$  — среднесписочное число автотранспортных средств  $r$ -й группы в  $t$ -м году планирования;  $m = \overline{1, M}$  — размер партии данного вида или данной группы грузов;  $Q_{mst}$  — объем перевозок, приходящийся в  $t$ -м году на  $m$ -й размер партии  $s$ -го вида груза;  $\omega_{rst}$  — производительность автотранспортного средства  $r$ -й группы в  $t$ -м году при перевозке  $s$ -го вида груза, определяемая по формуле

$$\omega_{rst} = 365 \alpha \frac{t_n v_T \beta q_r \gamma}{l + v_T t_{n-p}}.$$

Здесь  $\alpha$  — коэффициент выпуска автомобилей на линию;  $t_n$  — среднее время нахождения автомобилей в наряде за сутки;  $\beta$  — коэффициент использования пробега;  $q_r$  — грузоподъемность автомобильного транспортного средства;  $v_T$  — техническая скорость;  $l$  — среднее расстояние ездки с грузом;  $t_{n-p}$  — время простоя автотранспортного средства под погрузкой-разгрузкой за одну ездку.

Изложенная методика рассчитана на определение потребности в грузовых автотранспортных средствах, работающих по сдельным расценкам. Потребность же в автомобилях, работающих почасово, определяется по формуле  $\omega_r = 365 \alpha t_n$ , т. е. исходя из необходимого количества автомобиле-часов пребывания в наряде. Такое планирование потребности в "почасовых" автомобилях обусловлено невозможностью учета их работы в перевезенных тоннах и тонно-километрах.

Потребность в подвижном составе для замены физически изношенных и морально устаревших автомобилей определяется с учетом необходимого планомерного обновления парка машин.

В начале планируемого периода необходимо произвести сравнение фактического количества автомобилей с потребным, если выявится несоответствие, то возникнет задача оптимизации структуры парка автотранспортных средств.

При оптимизации структуры грузового автомобильного парка важно определить наиболее выгодный момент его обновления [29]. В настоящее время намечена тенденция перехода от методов, учитывающих интересы конкретного АТП, к методам отыскания оптимальной с народнохозяйственных позиций политики обновления парка. Изложенные в современной технической литературе [15, 29—32] методы и модели не имеют единого подхода, плохо сопоставимы, нет единых критериев и показателей оптимальности сроков службы автомобилей. В зависимости от экономического содержания задачи, положенного в основу моделей, они могут быть объединены в три группы. Первая включает модели, описывающие план обновления парка с учетом себестоимости единицы транспортной работы. Выделим для расчета два основных показателя:

затраты на производство единицы транспортной работы на новых и старых автомобилях (приведенные затраты); значение предельной себестоимости единицы транспортной работы.

Себестоимость единицы  $s$ -го вида транспортной работы представляет собой денежное выражение затрат в виде

$$Z_s = 100C_s^{\text{общ}}/Q_s,$$

где  $C_s^{\text{общ}}$  — общие затраты АТП на выполнение  $s$ -го вида транспортной работы;  $Q_s$  — выполненная транспортная работа  $s$ -го вида.

Эксплуатация автомобиля заканчивается до того, как возмещение его износа становится экономически неэффективным. Замена происходит в случае, если увеличивается себестоимость транспортной работы на единицу перевозимой продукции, что является экономически не эффективным. Эксплуатационные показатели новых автомобилей сопоставляются с показателями действующих, в расчет включаются стоимость автомобиля, эксплуатационные расходы, затраты на капитальный ремонт. По каждой новой марке рассчитывается лимитная цена — максимально допустимая стоимость, при которой эксплуатация автомобиля будет выгодной. Приобретение автотранспортных средств по цене выше лимитной приведет к убыточной транспортной работе, т. е. существует предельный уровень. При расчете предельной себестоимости единицы транспортной работы учитывается изменение затрат, связанных с использованием данной марки автомобиля в регионе. Причем не учитываются потребности страны в этих автомобилях, возможности автомобильной промышленности и ресурсы капиталовложений. Опре-



деление предельного уровня не дает оптимального решения, а лишь способствует нахождению приемлемого (допустимого) способа действия. Поэтому критерий оптимальности, определенный как минимальные расходы по содержанию автомобиля на единицу транспортной работы, выполненной за период его эксплуатации, не является полноценным.

Модели этой группы позволяют определить верхний предел возможного использования старой техники, но в практических расчетах используются крайне редко в связи с необходимостью учитывать сроки службы автомобилей, возрастной состав и баланс парка, реальные условия его функционирования и возможности автомобильной промышленности.

**Вторую группу** моделей составляют такие, на основе которых ведутся расчеты по определению эффективности капитального ремонта автомобилей. Основными показателями при расчетах являются следующие:

затраты на капитальный ремонт и приобретение нового автомобиля;

экономия затрат при выполнении транспортной работы автомобилями после капитального ремонта.

При замене автомобилей существуют ограничения, определяемые возможностями автомобильной промышленности. Замена автомобиля и определение рациональных сроков его службы производятся с учетом следующих факторов:

балансового, устанавливающего потребности народного хозяйства в выполнении определенного вида работ;

экономического, определяющего целесообразные масштабы и методы воспроизводства парка на основании суммарных народнохозяйственных издержек на эксплуатацию и производство.

Предложенная в [27] модель описывает задачу минимизации суммарных годовых эксплуатационных затрат с учетом расходов на капитальный ремонт автомобилей. Задача решается при условиях:

обязательного выполнения заданий на перевозки по всей номенклатуре грузов;

современных поставок АТП автомобилей определенной грузоподъемности и соответствующих типов кузова для выполнения заданий на перевозки установленных размеров партий и видов грузов;

наличия необходимой производственной мощности в регионе для капитального ремонта автомобилей.

Указанная выше модель позволяет в пределах точности намерения входящих в нее параметров проследить в динамике, как наращивание провозной способности автомобильно-

то парка за счет капитального ремонта влияет на объем его текущих затрат и структуру (возрастную и по грузоподъемности) парка.

Третью группу составляют модели, на основе которых формируются потребности в обновлении парка автомобилей. Как правило, процесс обновления рассматривается применительно к некоторому машинному парку, состоящему из однотипных машин [29], из которых некоторое количество перестает действовать из-за длительного срока службы, полного износа, аварии и т. п. Оценка или прогноз объема замены изношенных автомобилей определяется моментом замены, т. е. одновременной оценкой будущего срока службы и объема выбытия. Процесс выхода из строя автомобиля рассматривается как случайный, учитывающий вероятностные характеристики и статистический характер используемой информации. Этот подход применим для автопредприятий или на уровне территориального планирования. Модели позволяют рассчитывать ожидаемое количество поколений, требующихся в каждый период, при условии, что известна возрастная структура парка в начальный момент времени.

Для планирования пополнения парка автотранспортных средств новыми взамен списываемых выполняется предварительный расчет количества автомобилей, подлежащих списанию в течение рассматриваемого периода эксплуатации. Для этих целей весьма эффективны стохастические модели [31]. Они позволяют получить не единственное решение, а область рациональных решений с их экономическими и вероятностными оценками, дающих возможность каждому специалисту-практику анализировать различные ситуации и оценивать направления изменения решений при вариации исходной информации в некоторых пределах, допускающих резервирование.

Оптимальный срок службы определяется исходя из максимизации экономического эффекта от использования автомобиля. Критерий минимума удельных затрат не стимулирует роста производства продукции, цель эксплуатации отходит на второй план.

Сложность установления оптимального срока службы определенного типа автомобиля заключается в необходимости определения стоимости единицы перевозимого вида груза. Доход от эксплуатации автомобиля часто зависит от множества случайных и неучтенных факторов, поэтому доходы не принимаются во внимание, а использование автомобиля рассматривается как некоторый неизбежный процесс, связанный только с эксплуатационными издержками.

**Постановка задачи оптимизации экономического критерия имеет логические недостатки. Оптимальное решение достигается тогда, когда исчерпывается экономический ресурс автомобиля, что соответствует ситуации при постановке на максимум эффекта, когда валовой доход с учетом реализации остаточной стоимости автомобиля равен издержкам эксплуатации. Здесь не учитывается и возможность замены автотранспортного средства ранее этого момента, так как прибыль, приносимая новым автомобилем, может превзойти аналогичную от продолжения эксплуатации старого. Это справедливо при постановке задач на минимум затрат, поскольку до наступления оптимального срока службы отдельного автомобиля возможна его замена с меньшими затратами.**

Методы решения стохастических одношаговых задач, для которых принимается только одно решение, являются наиболее разработанными. Менее разработаны стохастические многошаговые (динамические) задачи, в которых принимаются два или более решений в различные моменты времени и которые обладают тем свойством, что на последующие решения могут влиять не только планы, принятые ранее, но и некоторые стохастические параметры. Динамические модели позволяют учитывать: влияние ремонта на старение автомобиля; изменение параметров, воздействующих на моральный износ техники; сроки службы автомобилей, дифференцированные по регионам.

Модели оптимизации сроков службы автомобилей базируются на прогнозе потребностей в автотранспортных средствах, прогнозных значениях объемов капитальных вложений в диагностику, техническое обслуживание и ремонт автомобилей, определении продолжительности эксплуатации автомобиля с минимальными совокупными затратами, а также учитывают совокупность региональных эксплуатационно-производственных факторов, влияющих на масштабы и эффективность развития территориальных управлений групповыми перевозками.

Основными принципами построения моделей оптимизации развития производственной структуры грузового автомобильного транспорта общего пользования в регионе являются [19, 33]:

**направленность развития производственной структуры на выполнение планируемых объемов перевозок в разрезе номенклатуры;**

**комплексность характера взаимодействия основных составляющих производственной структуры;**

**вариантность по критерию;**

**неопределенность будущих ситуаций;**

блочность построения модели, основанная на разделении производственной структуры по видам производственной деятельности;

иерархичность построения модели, основанная на отражении организационной структуры и практики планирования.

Модели оптимизации структуры грузового автомобильного транспорта общего пользования являются двухуровневыми. Модель верхнего уровня представляет собой задачу оптимального распределения ресурсов между АТУ. В качестве ресурсов выступают подвижной состав и капитальные вложения, необходимые для развития его и зон проведения ремонтно-профилактических работ. Нижний уровень планирования представляет собой модель оптимизации развития производственной структуры АТП при известном распределении ресурсов.

Модели оптимизации производственной структуры грузового автомобильного транспорта общего пользования разбиваются на блоки: оптимизации развития парка подвижного состава; оптимизации развития производственной базы АТП (строительства и реконструкции стоянок подвижного состава, зон проведения ремонтно-профилактических работ и т. п.).

Указанные модели могут быть использованы при имитации развития производственной структуры, когда по заданному распределению ресурсов отрасли на верхнем уровне рассматриваются варианты траекторий развития производственной структуры каждого АТП. Попытка комплексного подхода к проблеме оптимизации производственной структуры парка автотранспортных средств произведена в работе [33], однако не указаны методы, с помощью которых решаются поставленные задачи.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что до настоящего времени экономико-математическому моделированию комплексного развития парка автотранспортных средств уделялось недостаточно внимания.

#### **1.4. ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ — ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ**

Анализ существующей практики формирования развития основных производственных фондов транспортной системы показывает, что современные средства экономико-математического моделирования используются в недостаточной степени, а для транспортно-бытового обслуживания

населения нет аналога. С целью совершенствования системы транспортно-бытового обслуживания населения необходимо широко использовать в практике планирования математические модели и средства вычислительной техники, позволяющие исследовать допустимое множество состояний системы в процессе ее развития и функционирования.

Специфика задач требует тщательного рассмотрения процессов поставки, списания, переоборудования автотранспортных средств, ресурсного обеспечения работоспособности системы и технологического обеспечения перевозок грузов населения.

Применение математических методов и средств вычислительной техники позволяет получить следующие результаты:

- определить необходимое и достаточное количество автомобилей, закрепленных за отдельно взятым АТП;

- выделить специализированные группы автотранспортных средств исходя из номенклатуры оказываемых транспортных услуг населению;

- получить варианты рационального использования парка автотранспортных средств в системе транспортно-бытового обслуживания;

- повысить рентабельность деятельности автотранспортных предприятий в системе транспортно-бытового обслуживания;

- повысить уровень транспортно-бытового обслуживания, обеспечив высокое качество обслуживания и безотказность системы.

Традиционный подход к моделированию развития структуры парка автотранспортных средств для транспортно-бытового обслуживания населения далеко не всегда позволяет достаточно надежно определить пропорции развития транспортной системы (с точки зрения формирования показателей удовлетворения потребностей в перевозках и использования автотранспорта). В большинстве используемых устанавливаются лишь приближенные зависимости между капитальными вложениями, вводом в действие активной части основных производственных фондов транспортной системы и обеспечиваемым приростом объемов перевозок.

Интенсификация развития транспортной системы, достижение наивысших конечных результатов зависит прежде всего от состояния, определения наиболее целесообразной структуры парка автотранспортных средств и реконструкции, технического перевооружения структуры производственно-технической базы. Можно с уверенностью утверждать, что оптимизация основных производственных фондов транспор-

тной системы, прежде всего их активной части, является обязательным, необходимым и даже первоочередным условием развития транспортной системы по обслуживанию населения.

Выбор эффективных плановых решений развития транспортной системы обеспечивается различными методами оптимизации на базе современных средств вычислительной техники. Применение этих методов обеспечивает выбор:

оптимальной структуры парка автомобильного транспорта общего пользования, осуществляющего транспортно-бытовое обслуживание;

оптимальной структуры производственно-технической базы с учетом централизации и специализации действующих и вновь строящихся предприятий для сферы транспортно-эксплуатационного обслуживания населения;

оптимальных направлений перспективного развития основных производственных фондов транспортной системы по обслуживанию населения.

Следует признать, что использование моделей и методов оптимизации плановых решений по развитию транспортных систем не всегда находит широкое применение из-за недостаточности достоверной информации об использовании автомобильных средств для бытового обслуживания населения; отсутствия информации о производственно-технической базе, обеспечивающей нормальное функционирование транспортных средств при бытовом обслуживании населения; отсутствия специализированной базы (особенно в крупных городах УССР), которая должна обеспечить техническую готовность и надежную эксплуатацию автотранспортных средств. Именно поэтому оптимизационные экономико-математические модели должны стать неотъемлемым элементом в арсенале средств планирования развития транспортных систем.

Решение современных задач исследования развития транспортной системы по обслуживанию населения требует привлечения специалистов различных направлений, эффективное сотрудничество которых возможно при наличии общей методологии. В научной литературе, как уже обсуждалось (см. п. 1.1), методология, касающаяся вопросов математического моделирования исследования экономических объектов, получила наименование «системный анализ» [34]. Одним из важнейших инструментов такого анализа является моделирование на ЭВМ.

Проведенный анализ литературных источников показал, что метод математического моделирования успешно применяется в области исследования развития транспорта общего

использования, но не для сферы транспортного экспедиционного обслуживания населения.

Процесс моделирования транспортной системы включает в себя такие этапы, как разработка модели, алгоритмизация и программирование, проведение экспериментов с моделями, обработка и интерпретация результатов моделирования. Ввиду того что математические и программные средства, поддерживающие отдельные этапы моделирования, недостаточно развиты, изолированы друг от друга и не носят унифицированного характера, их использование в планировании не всегда достаточно эффективно.

Математическое моделирование основано на том, что различные экономические объекты транспортной системы могут иметь одинаковое математическое описание. Экономико-математическая модель представляет собой записанную в виде математических неравенств (равенств) совокупность знаний и гипотез об основных производственных фондах АТП, ТЭП, ТЭА. Поскольку знания о транспортной системе по обслуживанию населения не могут быть абсолютными ввиду вероятностного характера поступления заявок на перевозку грузов, а в гипотезах невозможно учесть другие факторы транспортного обслуживания населения, то модель описывает реальную систему с некоторой определенной степенью точности.

Модель позволяет проводить достаточно широкое исследование, получать различные варианты решения, изменяя те или иные показатели о состоянии ТСОИ, что дает возможность выбирать технологу-эксперту наиболее приемлемый вариант развития системы. Чтобы получить такую возможность, необходимо решить вопрос адекватности модели транспортной системы.

Таким образом, в процессе моделирования имеем дело с тремя этапами исследований: описанием ТСОИ, построением экономико-математической модели развития ТСОИ, разработкой компьютерной модели. Последняя модель представляет собой алгоритмизацию и программную реализацию модели развития ТСОИ. Основной проблемой планирования развития ТСОИ является качественное построение возможных состояний развития системы. На этом этапе требуется привлечение отраслевых технологов-экспертов, которые, надея достаточным арсеналом знаний о ТСОИ, могут предложить множество возможных вариантов ее развития.

До настоящего времени экономико-математическое моделирование использовалось в основном либо при решении локальных задач, либо для получения необходимых параметров развития или функционирования транспортной сис-

темы. Технология системного моделирования дает возможность эффективно выполнять на ЭВМ исследования по развитию сложных систем вообще и транспортной системы по обслуживанию населения в частности. При ее использовании появляется возможность организовать взаимосвязанную работу на всех этапах моделирования — начиная от изучения предметной области и выделения моделируемой проблемной области построения экономико-математической и компьютерной моделей и кончая построением и реализацией машинных экспериментов для анализа стратегии развития ТСОИ [35].

Технологии системного моделирования присуще выявление закономерностей моделирования, которые позволяют наиболее эффективно исследовать: приемы построения алгоритмической схемы развития ТСОИ; машинное представление экономико-математической модели развития транспортной системы; проведение ряда экспериментальных расчетов, направленных на повышение качества транспортных услуг и интенсификацию использования автотранспортных средств как основных фондов.

Компьютерное моделирование во многом определяется искусством исследователя и позволяет найти наиболее эффективные варианты планов развития транспортной системы по обслуживанию населения.

Важным этапом технологии системного моделирования является формирование наборов состояний системы, что определяет в конечном счете плановые решения по развитию ТСОИ в рассматриваемый период времени.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ

### 2.1. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ

Общие способы построения экономико-математических моделей в настоящее время не определены. Однако существует ряд требований, которые предъявляются к экономико-математическим моделям развития транспортных систем и могут быть охарактеризованы следующим образом:

модель необходимо строить на основе экономических законов развития транспорта, отображая наиболее существенные специфические свойства;

модель должна включать количественно измеримые показатели, характеризующие развитие транспортной системы;

математические выражения, составляющие модель, должны удовлетворять таким требованиям, как полнота, совместимость, идентичность размерностей;

модель должна быть относительно простой, но вместе с тем с необходимой полнотой характеризовать основные свойства и свойства транспортной системы;

модель должна позволять планировать развитие транспортной системы по обслуживанию населения наиболее рациональным путем;

модель должна допускать решение поставленных задач с применением ЭВМ.

Разработчик, моделирующий систему, интересуется прежде всего ее динамическим поведением, т. е. тем, как она выполняет свои функции во времени.

При моделировании транспортной системы представляется удобным время  $t$  рассматривать как дискретную величину, а все элементы системы просматривать через промежуток времени  $\Delta t$  (шаг моделирования).

Таким образом, процесс планирования развития транспортной системы становится многошаговым, причем на каждом шаге состояние системы задается вектором  $\{I_i\}$ . Предполагается, что начальное состояние  $I_0$  фиксировано и определение его трудностей не вызывает. Построение же

вектора  $\{I_T\}$  требует предсказания отдаленной ситуации, поэтому иногда о состоянии  $I_T$  говорят как о цели системы. Переход системы из некоторого состояния  $I_{t-1}$  в следующее возможен при условиях:

каждая группа параметров, характеризующих состояние системы, удовлетворяет плановому заданию по перевозкам в целом и по каждому виду транспортных услуг в отдельности при соблюдении требуемых графиков выполнения заказов; суммарное количество парка автомобилей по каждой из моделей, соответствующее состоянию  $I_{t-1}$ , не больше общего их числа таких же моделей без подлежащих описанию в состоянии  $I_t$ ;

прирост количества подвижного состава для удовлетворения заказов в целом по региону не превосходит возможную верхнюю границу поставок;

общий объем капитальных вложений в приобретение автотранспортных средств и развитие базы под состояние  $I_t$  не превышает выделенные для этой цели суммы.

Последовательность состояний  $\{I_0, I_1, \dots, I_t, \dots, I_T\}$  в некотором периоде планирования задает траекторию развития транспортной системы. Назовем допустимыми траектории, входящие во множество вариантов  $\mathcal{Z}_T$ , в которых выполнены все возможные технические требования и ограничения. Из множества  $\mathcal{Z}_T$  по некоторому критерию выбирается оптимальная траектория. Все допустимые траектории в процессе выбора оптимальной взаимозаменяемы.

Если условия реализации планов развития не меняются, то осуществленный по этой схеме выбор оптимальной траектории является обоснованным. В противном случае происходит дополнительная структуризация исходного множества траекторий, состоящая в том, что у каждой траектории из множества  $\mathcal{Z}_T$ , принятой в плане к исполнению, образуется свое подмножество допустимых переходов на другие траектории, не принятые в плане к исполнению, но находящиеся в области допустимого маневрирования. Другими словами, для каждой траектории, принятой в плане к исполнению, может быть выделен пучок траекторий, на которые возможен переход, т. е. формируется область допустимого маневрирования.

Процесс построения моделей в обобщенном виде можно выразить следующим образом. Исследуемая сфера транспортно-бытового обслуживания населения представляется в виде некоторой сложной транспортной системы. На первом этапе производится анализ исследуемой системы, который предполагает выявление сущности и взаимосвязи по возможности всех характеризующих ее факторов. Далее про-

водятся классификация элементов и отбор решающих факторов исследуемой транспортной системы. При этом число факторов, описывающих систему и включенных в модель, должно отражать сущность системы и одновременно быть минимальным для достижения простоты разрабатываемой модели. На основании проведенной работы конструируется вариант модели. На завершающем этапе модель проверяется на соответствие реально существующей сфере услуг по транспортно-бытовому обслуживанию населения.

## 2.2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ И МЕТОД ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

Главная цель системного подхода к задачам планирования транспортно-бытовых услуг населению — оптимизация показателей системы на основе экономико-математических моделей, с помощью которых можно рассчитать стоимость ее развития и функционирования в достаточно широкой области изменения эксплуатационных характеристик и произвести анализ.

Исследование следует проводить в двух направлениях: получения краткосрочных рекомендаций по улучшению работы системы (год, пятилетка);

выработки долгосрочного плана развития системы.

Поскольку задачи планирования транспортно-бытовых услуг населению связаны с большим количеством возможных вариантов решений, появилась необходимость в создании методик и моделей планирования, которые бы обеспечивали выбор оптимальных вариантов на базе предварительного экономико-математического исследования. Классические методы анализа и вариационного исчисления, используемые для этих целей, оказались недостаточны ввиду большого количества параметров, от которых зависит решение, и не позволили получить численные решения. Это привело к широкому использованию методов динамического программирования, основанных на принципе оптимальности и учитывающих возможности, предоставляемые использованием вычислительной техники.

Рассмотрим некоторый регион с функционирующей транспортной системой, обеспечивающей выполнение определенного объема услуг по всей номенклатуре перевозок грузов. Пусть планируется развитие транспортной системы на некоторый период времени. Предположим, что в его начале на развитие системы выделена определенная сумма капитальных вложений и освоение их по годам ограничива-

ется производственными возможностями АТП. Имеется некоторый парк автотранспортных средств с заданными технико-экономическими характеристиками. Известны годовые эксплуатационные расходы, связанные с выполнением заказов населения по перевозке грузов.

Среди всех вариантов  $v \in \mathcal{B}$  развития транспортной системы необходимо найти такой, который имел бы минимум затрат на развитие при условии выполнения плана по объемам перевозок:

$$\min f(u_i^K(\mathcal{A}_{rst}), u_i^\ominus(\mathcal{A}_{rst})) \quad (2.2.1)$$

при ограничениях

$$y(u_i^K(\mathcal{A}_{rst}), u_i^\ominus(\mathcal{A}_{rst})) \leq Y; \quad (2.2.2)$$

$$b \in \mathcal{B} = \prod_{t=1}^T u_t, \quad b = \{u_i^K(\mathcal{A}_{rst}), u_i^\ominus(\mathcal{A}_{rst})\}, \quad (2.2.3)$$

где  $u_t = \{u_i^K(\mathcal{A}_{rst}), u_i^\ominus(\mathcal{A}_{rst})\}$  — заданные множества состояний системы транспортно-бытового обслуживания, характеризующиеся набором определенных марок и моделей автомобилей и их технико-экономическими параметрами;  $f, y$  — произвольные функции дискретного аргумента.

Таким образом, множество возможных вариантов развития системы, задаваемое равенством (2.2.3) в виде произведения множеств, характеризующих состояния системы  $u_t$ , представлено в виде переменной  $\mathcal{B}$ . Среди всех возможных решений допустимыми являются лишь удовлетворяющие неравенству (2.2.2).

Большая группа задач развития транспортной системы по обслуживанию населения ставит своей целью распределение различного рода ресурсов. Необходимость решать ту или иную задачу распределения возникает потому, что задача может:

быть инициирована в транспортной системе министерством;

возникнуть вследствие изменения критерия оптимальности, отражающего общую ситуацию развития функционирования сферы услуг региона;

быть вызвана изменениями в ресурсах (структуре парка автомобилей);

возникнуть вследствие появления некоторой идеи улучшения ранее выработанного планового решения.

Рассмотрим одну из таких конкретных задач. Пусть, на пример, планируется развитие транспортной системы по обслуживанию населения в некоторый период времени

включающий  $T$  хозяйственных лет. Предположим, что в начале периода на развитие системы выделена определенная сумма капитальных вложений  $K$ , освоение которых по годам ограничивается возможностями АТП. Необходимо распределить капиталовложения и поступающие от АТП автотранспортные средства так, чтобы к концу периода планирования суммарный доход от всей системы был максимальным. Плановое задание на  $T$  лет дает естественное деление процесса планирования на  $T$  шагов.

Обозначим  $K_{nt}$ ,  $n = \overline{1, N}$ ,  $t = \overline{1, T}$ , — капитальные вложения, выделяемые  $n$ -му АТП в год  $t$ . Некоторый вектор  $K_{1t}$ ,  $K_{2t}$ ,  $\dots$ ,  $K_{Nt}$  назовем управлением  $u_t$ , т. е.  $u_t = (K_{1t}, K_{2t}, \dots, K_{Nt})$ . Будем считать, что управление выбрано, если на  $t$ -м шаге произведено следующее распределение капиталовложений:  $K_{1t}$  — 1-му АТП,  $K_{2t}$  — 2-му и т. д.,  $K_{Nt}$  —  $N$ -му. При этом сумма капиталовложений в  $t$ -м году не превышает возможного выделения капиталовложений  $K_t$ .

Последовательность управлений представляет собой управление на весь период планирования развития транспортной системы по бытовому обслуживанию, т. е.

$$u = (u_1, \dots, u_t, \dots, u_T) = \\ = (K_{11}, K_{21}, \dots, K_{N1}; K_{12}, K_{22}, \dots, K_{N2}; \dots; \\ K_{1T}, K_{2T}, \dots, K_{NT}).$$

Обозначим через  $\mathcal{D}_{nt}(K_{nt})$  доход, получаемый на  $t$ -м шаге.

Тогда суммарный доход равен  $\sum_{n=1}^N \mathcal{D}_{nt}(K_{nt})$ . Требуется найти такое начальное состояние транспортной системы, такую последовательность управлений  $\{u_t\}$ , чтобы суммарный доход за все  $T$  шагов  $\mathcal{F} = \mathcal{F}(u_1, u_2, \dots, u_T)$  обращался в максимум.

Запишем математическую модель рассматриваемой задачи. Максимизировать

$$\mathcal{F}(u_1, \dots, u_t, \dots, u_T) = \\ = \mathcal{F}(K_{11}, K_{21}, \dots, K_{N1}; \dots; K_{1t}, K_{2t}, \dots, \\ \dots, K_{Nt}; \dots; K_{1T}, K_{2T}, \dots, K_{NT}) = \\ = \mathcal{D}_1(K_{11}, K_{21}, \dots, K_{N1}) + \dots + \mathcal{D}_t(K_{1t}, K_{2t}, \dots, K_{Nt}) + \dots \\ \dots + \mathcal{D}_T(K_{1T}, K_{2T}, \dots, K_{NT}) = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \mathcal{D}_{nt}(K_{nt}) \quad (2.2.4)$$

при условиях

$$\sum_{n=1}^N K_{nt} \leq K - \sum_{n=1}^N \sum_{\tau=1}^{t-1} K_{n\tau} \leq K_t; \quad (2.2.5)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T K_{nt} = K; \quad (2.2.6)$$

$$u_t = (x_{1t}, \dots, x_{Nt}) \geq 0. \quad (2.2.7)$$

Критерий  $\mathcal{F}$  является аддитивным, т. е. складывается из значений того же критерия, полученных на отдельных шагах, и определенным на множестве  $\mathcal{S}$  допустимых последовательностей состояний транспортной системы, выполняющей обслуживание населения.

Под влиянием последовательности управлений  $(u_1, \dots, u_T)$  транспортная система переходит из начального состояния  $i_0$  в конечное  $i_T$  за  $T$  шагов. При этом доход системы

$$\mathcal{F} = \sum_{t=1}^T \mathcal{D}_t(i_{t-1}, u_t);$$

где  $\mathcal{D}_t(i_{t-1}, u_t)$  — доход на  $t$ -м шаге, зависящий от предыдущего состояния транспортной системы  $i_{t-1}$  и принятого управления  $u_t$ .

Наиболее удачным и привлекшим внимание исследователей при поиске и принятии оптимальных решений является метод последовательного анализа вариантов, в основе которого лежит идея представления процесса решения в виде многоступенчатой структуры [36, 37]. Каждая ступень связана с проверкой свойств каждого варианта из множества решений, характерных для транспортной системы, а именно: обязательного выполнения заявок на оказание транспортных услуг; рационального использования транспортных средств; выполнения плана по доходам, получаемым от использования автотранспорта; сокращения затрат на содержание транспортных средств. Такая проверка позволяет оценить вариант решения на приемлемость или же отвергнуть его.

Решение задач (2.2.1) — (2.2.7) методом последовательного анализа вариантов осуществляется с помощью алгоритма пошагового конструирования решений, который основывается на правиле  $L$  выбора частичных решений с дальнейшим их развитием при переходе от шага  $t$  к шагу  $t+1$ .

Правило  $L$  выбора частичных решений основывается на проверке множества решений  $\mathcal{S}$ , получаемых по каждому  $i_t$ -му состоянию системы. При этом параметр  $A_{rst}^i$  (число автомобилей  $r$ -й марки, используемых при перевозке  $s$ -го вида груза по  $i$ -му состоянию в  $t$ -й год планирования) рассматривается в четырехмерном пространстве, что вносит соответствующие трудности при определении частичных

решений. Разработанные программные средства используются для систем, в которых состояния описываются в векторной форме. В задаче определения оптимальной структуры парка состояния системы задаются в матричной форме, т. е. выбор типа транспортного средства осуществляется с учетом класса перевозимого груза (домашние вещи, хозяйственные товары, строительные грузы, топливо, контейнеры и т. д.). Все это увеличивает размерность задачи, но структура парка транспортных средств ввиду большой разнородности перевозимых грузов должна выбираться в строгом соответствии с родом груза.

Правило  $L$  выбора частичных решений, которые могут быть развиты на каждом шаге, описывается системой неравенств (2.2.2), т. е. выбираемые частичные решения должны обеспечивать полный объем перевозок с учетом неопределенности, возникающей в связи с изменениями внешней среды, и рациональное использование подвижного состава.

Тогда частичные решения образуют множество  $\mathcal{B}$ . На  $t$ -м шаге конструирования может быть получено множество полных и частичных решений  $\mathcal{B}_t$ , в котором с помощью правила  $L$  выбирается некоторое подмножество  $L(\mathcal{B}_t)$ . Каждое из частичных решений  $b_j \in L(\mathcal{B}_t)$ , с помощью оператора  $\rho$  реализующее пошаговое конструирование частичных решений, может быть представлено системой частичных решений

$$\rho(b_j) = \{b_{j+1} = (u_{jt}^k(\mathcal{A}_{rst}^i), u_{jt}^\partial(\mathcal{A}_{rst}^i)), j = \overline{1, T}\}.$$

Полученное множество  $\mathcal{B}_{t+1} = (\mathcal{B} \setminus L(\mathcal{B}_t)) \cup \rho(L(\mathcal{B}_t))$  проверяется на выполнение условий (2.2.2), (2.2.3), (2.2.5) — (2.2.7), каждое из которых осуществляет отсев бесперспективных частичных решений из множества  $\mathcal{B}_{t+1}$ . Таким образом, полученное множество частичных решений проверяется на следующем  $(t+1)$ -м шаге. Поскольку данный метод позволяет за конечное число шагов свести последовательность частичных решений  $\mathcal{B}_1, \mathcal{B}_2, \dots$  к множеству оптимальных решений задачи (2.2.1) — (2.2.7), то получаем не только траекторию оптимального развития парка транспортных средств в заданном временном интервале, но и окрестность, в которой данная траектория будет близка к оптимальной.

Широкие возможности этого аппарата исследования объясняются прежде всего тем, что с его помощью можно изучать как реальные процессы, протекающие в фактически существующей системе транспортно-бытового обслуживания населения автомобильным транспортом общего пользования, так и процессы, которые могли бы происходить в

условиях, соответствующих различным предлагаемым вариантам развития и функционирования перевозочного процесса. Такое рассмотрение вариантов позволяет вскрыть имеющиеся резервы и принимать обоснованные решения при сопоставлении конкурентоспособных вариантов.

Решение задачи развития транспортной системы по обслуживанию населения позволяет:

определить экономическую политику в системе транспортно-бытовых услуг населению, которая обеспечит максимально возможное снижение затрат во всей цепочке операций по доставке грузов;

выбрать план развития системы на текущий период и перспективу 5—10—15 лет;

определить план оптимального и технологически выполнимого задания на перевозку для каждого АТП, выполняющего работы по транспортно-бытовому обслуживанию населения;

определить план оптимального распределения подвижного состава по каждому из оказываемых видов услуг;

разработать оптимальную модель парка автотранспортных средств для обслуживания населения на ближайшие годы или перспективу в зависимости от количественных и качественных характеристик заказов по перевозке грузов.

При решении задач следует учитывать, что поведение транспортной системы зависит от действия случайных факторов, а входные величины, состояние и выходные параметры — от времени. Таким образом, ТСОИ является системой стохастической и динамической.

### **2.3. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ**

Транспортное обслуживание населения представляет собой транспортно-технологическую систему в некотором заданном регионе, в которой условия получения заявок от населения определяют технологию транспортного обслуживания. Вероятностный характер технологических процессов формирования грузов, спроса на них и связанные с ними транспортные перевозки обуславливают простои подвижного состава или нерациональное его использование. Вероятностный характер поступления заявок не позволяет использовать крупнотоннажные автомобили, сгруппировав некоторые грузы по развозным маршрутам. Поэтому более целесообразным считается наличие в структуре парка малотоннажных автомобилей. В то же время автотранспортные



предприятия в этом не заинтересованы, потому что такие машины не находят широкого применения при перевозке народнохозяйственных грузов. Такое противоречие между интересами автотранспортного и транспортно-экспедиционного предприятий снижает уровень обслуживания населения.

Парк автомобилей, обслуживающих транспортно-экспедиционное предприятие, должен более полно соответствовать удовлетворению требований населения по перевозке грузов. Необходимое количество автомобилей определенной грузоподъемности для перевозки грузов по заявкам населения прямо пропорционально среднесуточному количеству заявок на перевозку данного вида грузов с учетом вероятности их поступления.

Как показывает сложившаяся ситуация в транспортном обслуживании населения, структура парка автомобильного транспорта, существующая в настоящее время, не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системе обслуживания. Рост объемов обслуживания и получаемых от них доходов может быть достигнут в результате внедрения новых видов транспортных услуг, совершенствования структуры парка автотранспортных средств и эффективного их использования при перевозке грузов.

Повышение эффективности системы транспортно-бытового обслуживания населения в регионе означает снижение затрат на каждый рубль доходов от реализации транспортных услуг населению и должно базироваться на рациональном расходовании материальных, трудовых и денежных ресурсов. Достичь этого можно лишь при оптимальном развитии парка автотранспортных средств.

Таким образом, одним из важных условий повышения эффективности и качества транспортно-бытового обслуживания является совершенствование структуры парка автотранспортных средств. В каждый данный момент на структуру парка влияют многие факторы: потребность населения в различных видах перевозок; выпуск подвижного состава автомобильной промышленностью; срок его эксплуатации. В то же время структура парка влияет на эти потребности и их удовлетворение. В практике планирования существующая обратная связь не всегда учитывается, что приводит к дополнительным финансовым издержкам.

Оптимальная структура парка автотранспортных средств - это такая совокупность автомобилей, которая при минимальных расходах на единицу перевозимого груза позволяет обеспечить повышение экономической эффективности обслуживаемых отраслей народного хозяйства и лучшее

обслуживание населения. При этом должно обеспечиваться повышение отраслевой эффективности автомобильного транспорта [38].

Структура парка не статична. Вместе с изменением потребностей населения в перевозках изменяются требования к абсолютной величине и соотношению различных составляющих парка автотранспортных средств. При этом данная связь не обязательно является прямо пропорциональной ввиду того, что структура парка в значительной мере определяется производством автотранспортных средств промышленностью.

Структура парка рассчитывается под перспективные объемы перевозок и установленные группы грузов с учетом оптимальной грузоподъемности подвижного состава. Объемы и структура грузов, подлежащих перевозке, определяются путем прогнозирования по каждому виду услуг. Методики расчета оптимальной структуры автотранспортных средств с использованием математических методов и средств вычислительной техники получили широкое распространение только для перевозок народнохозяйственных грузов (см. п. 1.3). По методикам [19,39—41] может быть решена задача определения оптимальной структуры парка автотранспортных средств для бытового обслуживания населения.

Критерием оптимальности является минимум приведенных затрат в сфере эксплуатации автомобильного транспорта, а также на обслуживаемых транспортно-эксплуатационных предприятиях с учетом текущих затрат по всей технологии передвижения груза. По разработанным экономико-математическим моделям оптимальная структура парка автотранспортных средств рассчитывается по их грузоподъемности и специализации.

При определении состава и структуры парка автотранспортных средств на перспективу необходимо учитывать динамичность структуры грузов, предъявляемых к перевозке. В связи с этим выбор подвижного состава по грузоподъемности и типам кузовов рекомендуется производить по принципу преимущественного выбора наиболее производительного автомобиля под конкретный вид груза и вместе с тем такого, который имел бы широкую сферу использования, позволяющую гибко маневрировать провозными возможностями автотранспортных предприятий в различных условиях их функционирования.

Для формирования парка подвижного состава автотранспортного предприятия по этим показателям предусматривается разработка двух уровней математической модели.

на первом определяется структура парка автотранспортных средств по минимуму суммарных приведенных затрат, потребляемых трудовых ресурсов, капитальных вложений и новой подвижной состав, удельных площадей для стоянки автомобилей и минимуму потребления различных видов топлива.

На втором уровне формируется совокупность возможных способов развития и функционирования парка при многообразии реализуемых технологических связей между видами автотранспортных средств и перевозками по видам услуг по минимуму. Управляемыми параметрами второго уровня являются: распределение парка по номенклатуре грузов и линиям на услуги; распределение парка между транспортно-эксплуатационными агентствами.

Решение задачи на одном из уровней не может принести большого эффекта, так как только сочетание их позволяет говорить об эффективном использовании грузоподъемности и грузоемкости автотранспортных средств.

Сочетание моделей при решении задач формирования оптимальной структуры парка позволяет обеспечить повышение эффективности использования каждой тонны грузоподъемности парка, повысить производительность труда водителей и значительно расширить возможности автотранспортных предприятий по наиболее полному удовлетворению спроса на перевозки при изменении структуры грузов.

Однако получить стоимостную оценку ущерба, который несет транспортно-экспедиционное предприятие в результате невыполнения перевозок, по данным методикам невозможно. Определение величины полного ущерба от невыполнения частичного объема перевозок грузов невозможно осуществить из-за отсутствия единой методики измерения экономических эффектов различной природы и их существенно неадекватного характера по всей номенклатуре услуг в регионе.

Поскольку задача определения оптимальной структуры парка автотранспортных средств для обслуживания населения является недетерминированной и имеет свои особенности, то для ее решения должны быть применены оптимальные методы. Неопределенность системы транспортно-бытового обслуживания выражается прежде всего в том, что процесс обслуживания заявок населения на перевозку грузов носит вероятностный характер и, как указывалось выше, обусловлен многими факторами, оказывающими влияние на всю систему. Неопределенность поведения элементов системы является принципиальной отличительной чертой системы транспортно-бытового обслуживания населения

в сравнении с системой перевозок народнохозяйственных грузов автомобильным транспортом. Она определяется неполнотой информации, вызванной невозможностью исчерпывающего описания характера поступления заявок по каждому виду услуг.

Тогда задача оптимального развития парка автотранспортных средств для транспортно-бытового обслуживания населения в условиях неполной информации сводится к двухэтапной задаче стохастического программирования. [42]. Тем не менее она не может быть решена как задача стохастического программирования по следующей причине. Определенная заранее потребность в увеличении парка автотранспортных средств на основании информации об априорных стохастических характеристиках спроса на перевозки значительно отклоняется в ту или иную сторону от плановых заданий по оказанию услуг населению. В связи с этим невозможно гарантировать удовлетворение спроса на выполнение перевозок. Для корректировки плана увеличения парка автотранспортных средств необходима информация о реализации случайных параметров, чтобы оценить возможные последствия принятия решений по развитию парка. Информация о реализации случайных параметров не является достоверной и поэтому не может быть положена в основу формирования оптимальной структуры парка. Кроме того, заявка, поступающая от клиента, на выполнение транспортной услуги не является плановым показателем, содержит качественную, а не количественную характеристику, но служит показателем оценки функционирования системы. Поэтому целесообразно решение задачи развития парка автотранспортных средств для бытового обслуживания населения выполнять с учетом такого планового показателя, как выполнение плана по доходам от оказания транспортной услуги.

При определении перспективного плана развития структуры парка автотранспортных средств необходимо учитывать факторы, характеризующие:

- 1) условия обслуживания клиентов;
- 2) структуру парка;
- 3) использование автотранспортных средств;
- 4) ситуацию, в которой принимаются решения в системе планирования.

Первая группа факторов определяет требования к необходимому подвижному составу и характеризует структуру спроса населения на перевозку грузов (вид транспортных услуг и груза, условия погрузки-разгрузки, доставки и т. д.).

Вторая группа факторов определяет наиболее существен-

ные признаки подвижного состава, позволяющие установить возможность его применения для тех или иных условий перевозок, а также конкретные значения параметров его использования (тип кузова, марка, грузоподъемность, вид применяемого топлива и т. д.):

Третья группа факторов определяет набор показателей эффективности использования подвижного состава (удельный расход топлива, цена, производительность, удельная грузоемкость и эксплуатационные затраты).

Последняя группа факторов позволяет установить критерий или набор критериев выбора оптимального решения, а также требования к способу компьютерного представления задачи.

При решении задачи оптимизации развития парка автотранспортных средств требуется в каждом году рассматриваемого периода развития определить, какие автотранспортные средства и в каком количестве необходимы для выполнения перевозок по заявкам населения с наименьшими суммарными приведенными затратами на эксплуатацию парка и приобретение нового подвижного состава за весь период.

При разработке оптимизационной модели развития парка автотранспортных средств на пятилетний период планирования принимается ряд допущений.

1. Поставка и списание автомобилей осуществляются в один и тот же момент времени, поэтому можно пренебречь дифференциацией списанных автомобилей по видам услуг.

Данное допущение вызвано тем, что используется агрегированная информация, автомобили не закреплены за транспортно-экспедиционным предприятием, отсутствует информация об использовании автотранспортных средств, кроме того, амортизационный срок службы приобретаемых автомобилей в рассматриваемый период развития парка больше срока планирования (5—10 лет).

2. Автотранспортные средства могут быть приобретены в необходимом количестве.

3. Некоторые параметры целевой функции подвержены воздействию вероятностных факторов.

4. Искомые величины детерминированы.

Данное допущение объясняется отсутствием жесткого требования к изменению поставок новых автотранспортных средств, объем которых был определен на стадии разработки перспективных вариантов плана развития. План в виде случайного вектора целесообразно определять в ситуациях, когда решение может быть принято после реализации некоторых вариантов развития. Это допущение относится лишь к условно удовлетворения потребности в перевозках,

которые в конечном счете становятся утвержденным плановым решением, что должно быть принято к неукоснительному выполнению.

5. Провозные возможности парка автотранспортных средств могут превышать потребность в перевозках грузов.

Это предположение является достаточно реалистичным в условиях существенного влияния фактора неопределенности поступления заявок на перевозку грузов и связано с необходимостью компенсации возможных непредвиденных изменений функционирования системы по обслуживанию населения.

6. В критерий вводятся параметры, имеющие стоимостное выражение, что позволяет соизмерить эффекты различной природы.

При оптимизации структуры парка автотранспортных средств, в принципе, могут быть использованы такие же критерии оптимальности, как и при решении задач развития других отраслей народного хозяйства. Если полезный эффект — транспортная работа — по сравниваемым вариантам одинаков, то критерием может служить минимум приведенных затрат.

Если транспортная работа не задана, а для транспортного обслуживания населения планирование осуществляется по доходам, получаемым от оказания услуг населению, то критерием может служить максимум прибыли. В этом случае могут быть выбраны перевозки, наиболее выгодные для транспортно-экспедиционного предприятия, но не полностью удовлетворяющие потребности населения. Рассматривая перспективу 5—10 лет, легко ошибиться в прогнозе тарифов на транспортные услуги. Более достоверные результаты и больший экономический эффект могут быть достигнуты, если решение производится по максимуму выполнения заявок на перевозки грузов. Но тогда доходы по сравниваемым вариантам развития структуры парка будут одинаковы и задача опять сведется к минимизации затрат.

Учет в моделях неполноты информации при оптимизации структуры парка автотранспортных средств для обслуживания населения необходим, так как объем работы автомобильного транспорта существенно зависит от таких непредсказуемых факторов, как спрос и обеспеченность населения различными видами хозяйственных товаров, строительных и других материалов, доходы населения и ряд других. Неполнота информации учитывается при введении в критерий оптимальности элемента неопределенности доходов от выполнения транспортной работы по заявкам населения.

Итак, основными элементами критерия оптимальности в задаче являются:

1) годовые эксплуатационные затраты, рассчитываемые по нормативным данным;

2) капитальные затраты на приобретение новых автомобилей;

3) потери (ущерб) от нарушения условий получения доходов.

Управляемой переменной является объем поставок новых автотранспортных средств. Выбор оптимальной стратегии поставок зависит от:

1) характеристик использования автотранспортных средств;

2) предполагаемого спроса на транспортные услуги;

3) планируемого списания физически и морально устаревших автотранспортных средств;

4) различного рода ограничений, прежде всего ограничений по капитальным вложениям.

Из этих переменных не управляемы объем и структура потребности в перевозках. Частично нерегулируемой переменной являются капитальные вложения, которые могут быть направлены на приобретение автотранспортных средств в отрасли, ранее не планировавшееся. Поэтому нужно рассматривать случай, когда капитальные вложения не ограничены, и доводить выбор оптимальной стратегии до приемлемого объема вложений, обеспечивающих развитие.

Ниже приводится математическая постановка задачи, описанная в [43], которая рассчитана на средний уровень выполнения количества заявок по видам услуг. В качестве критерия эффективности в данной задаче выступает минимум приведенных затрат и потерь от невыполнения плана по доходам при оказании транспортных услуг населению.

Для описания модели введем следующие обозначения:

$S$  — группа груза,  $s = \overline{1, S}$ ;

$S_1$  — группа грузов, доставка которых осуществляется равнозначным маршрутом,  $s_1 = \overline{1, S_1}$ ;  $S_1 < S$ ;

$S_2$  — группа грузов, которые развозятся по маятниковым и кольцевым маршрутам,  $s_2 = \overline{1, S_2}$ ;  $S_2 = S - S_1$ ;

$r$  — марка автомобиля, используемого при оказании транспортных услуг населению по перевозке грузов,  $r = \overline{1, R}$ ;

$t$  — период развития системы транспортно-бытового обслуживания,  $t = \overline{1, T}$ ;

$K_{11}$  — нормативный коэффициент приведения;

$K_{rt}$  — капитальные вложения в автотранспортные средства  $r$ -й марки в  $t$ -м году;  
 $\mathcal{E}_{rst}$  — эксплуатационные затраты  $r$ -й марки автомобилей при перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $C_{rst}^{\text{пер}}$  — сумма переменных расходов на 1 км пробега;  
 $C_{rs}^{\text{пост}}$  — сумма постоянных расходов за 1 ч работы автомобиля;  
 $\alpha_t$  — коэффициент использования парка в  $t$ -м году;  
 $t_n$  — время нахождения в наряде;  
 $q_r$  — грузоподъемность автомобиля  $r$ -й марки;  
 $\gamma_{rst}$  — коэффициент использования грузоподъемности автомобиля  $r$ -й марки при перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $\beta_{rst}$  — коэффициент использования пробега при перевозке  $r$ -й марки автомобиля  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $l_{rst}$  — длина груженой ездки  $r$ -й марки автомобиля при перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $v_{rst}^a$  — эксплуатационная скорость  $r$ -й марки автомобиля при перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $l_{rst}^{\text{п-р}}$  — время простоя под погрузкой-разгрузкой  $r$ -й марки автомобиля при перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $w_{rst}$  — годовая производительность автомобиля  $r$ -й марки при перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $\mu_s$  — математическое ожидание невыполнения плана по доходам при перевозке  $s$ -й группы грузов;  
 $\mathcal{D}_{st}$  — доход, получаемый транспортно-экспедиционным предприятием при перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $z_{st}$  — количество заказов на перевозку  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $\sigma_{st}$  — средний объем заказа при перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $\mathcal{A}_{rst}$  — количество автомобилей  $r$ -й марки, используемых при перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $\delta_{rst}$  — среднее количество клиентов на маршруте при перевозке  $r$ -й маркой автомобиля  $s$ -й группы грузов населению в  $t$ -м году;  
 $\mathcal{A}_{rst}^{\text{пп}}$  — количество автомобилей  $r$ -й марки, приобретаемых для перевозки  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $\Pi_r$  — цена автомобиля  $r$ -й марки;  
 $K_t$  — лимит капитальных вложений в  $t$ -м году;  
 $C_{st}$  — тариф на выполнение заказа по перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t$ -м году;  
 $l_0$  — начальный и конечный путь движения автомобиля до погрузки-разгрузки.



Для выбранного состояния парка автотранспортных средств необходимо найти минимальные затраты на его содержание и минимальный ущерб от невыполнения транспортно-экспедиционным предприятием плана по доходам от оказания транспортных услуг населению при перевозке грузов:

$$F = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T (L_{rt} K_{rt} + \partial_{rst} x_{rst} + \mu_s \mathcal{Q}_{st}) x_{rst} \rightarrow \min, \quad (2.3.1)$$

где  $\mu_s = \sum_{t=1}^{T^*} p_{st} (\mathcal{Q}_{st}^{пл} - \mathcal{Q}_{st}^ф)$ ;  $t^*$  — время исследования системы транспортно-бытового обслуживания населения в плановый период  $T^*$ ;  $p_{st}$  — вероятность выполнения плана транспортно-экспедиционным предприятием по доходам от оказания услуг при перевозке  $s$ -го груза в  $t^*$ -м году;  $\mathcal{Q}_{st}^{пл}$  — плановый и фактический объемы доходов от оказания услуг населению при перевозке  $s$ -й группы грузов в  $t^*$ -м году. Эксплуатационные затраты рассчитываются по следующей формуле [44]:

$$\partial_{rst} = \frac{C_{rst}^{пл} v_{rt}^3 + C_{rst}^{факт}}{v_{rst}^3}, \quad r = \overline{1, R}; \quad s = \overline{1, S}; \quad t = \overline{1, T}.$$

Достижение минимума функцией (2.3.1) возможно при соблюдении таких условий: провозная способность парка, имеющего  $R$ -структуру в  $t$ -м году, должна обеспечивать перевозку  $s$ -х групп грузов

$$\sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T \omega_{rst} w_{rst} x_{rst} \geq \sum_{s=1}^S z \sigma_{st}, \quad t = \overline{1, T}, \quad (2.3.2)$$

где для  $s = \overline{1, S_1}$

$$w_{rst} = \frac{365 \alpha_t \sigma_{st} \delta_{rst} t_H}{t_{об}},$$

$$t_{об} = t_{rst}^{пл} + \delta_{rst} t^p + \frac{2l_0 + l_{rst} (\delta_{rst} - 1)}{v_{rst}^3};$$

или  $s = \overline{S_1 + 1, S}$

$$w_{rst} = \frac{365 \alpha_t t_H v_{rst}^3 \beta_{rst} \gamma_{rst}}{(l_{rst} + t_{rst}^{пл} v_{rst}^3 \beta_{rst})}.$$

Годовая производительность автомобиля в [44] рассчитывается таким образом: стоимость приобретаемых  $r$ -х марок

Задача (2.3.6)—(2.3.10) является задачей динамического программирования, и для ее решения использован метод последовательного анализа вариантов. Ввиду отсутствия универсального алгоритма данного метода разработано специальное программное обеспечение решения задачи развития транспортной системы по обслуживанию населения. Сложность реализации алгоритма заключается в том, что каждую точку в пространстве состояний системы необходимо рассматривать в четырехмерном пространстве. Прежде всего, каждое состояние рассматривается во множестве упорядоченных пар  $(i, t)$ , а каждый элемент этого множества, в свою очередь,  $(s, r)$ . Все это увеличивает объем исходной информации и усложняет вычислительный процесс.

Таким образом, качественная постановка оптимизационной модели развития парка автотранспортных средств для обслуживания населения основывается на схеме планирования, включающей в себя прежде всего оценку развития транспортных услуг на перспективу.

Выбор оптимальной стратегии развития структуры парка автотранспортных средств в существующей системе планирования осуществляется при разработке пятилетних планов экономического и социального развития путем многоитерационной процедуры, в которой участвуют заинтересованные стороны, т. е. представители управления грузового автомобильного транспорта и транспортно-экспедиционного предприятия. В первом приближении оптимальная стратегия развития системы транспортно-бытового обслуживания населения определяется без учета ограничений, накладываемых на объем поставок новых видов автотранспортных средств. С введением ограничений на верхние пределы возможных поставок выбор оптимальной стратегии развития осуществляется путем изменения исходных состояний системы.

Анализ показателей и факторов, характеризующих ситуацию принятия решений о развитии системы транспортно-бытового обслуживания населения, показывает, что на стадии подготовки плана формирования парка автотранспортных средств существенное влияние оказывает фактор неопределенности, проявляющийся в характере поступления заявок населения на оказание транспортных услуг.

Отказ от детерминированности и переход к модели, учитывающей неполноту информации, являются закономерным этапом повышения ее адекватности.

то в год  $t$  доходы, полученные от выполнения услуг «почта-доставка» автомобилями, обозначим через  $\mathcal{D}_t^1$ , а «сдельные» —  $\mathcal{D}_t^2$ .

Искомое состояние в году  $t$  обозначено через  $x_t^i$ . Эксплуатационные затраты на содержание парка автотранспортных средств, выполняющих заказы населения по перевозке грузов, определяются по утвержденным отраслевым нормативам.

Необходимо определить минимальные затраты на развитие системы транспортно-бытового обслуживания населения с учетом ущерба от невыполнения плана по доходам при выборе состояния  $i$  системы в  $t$ -м году планирования:

$$\mathcal{F} = \sum_{i=1}^J \sum_{t=1}^T \left( \left( \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R E_H \Pi_r \Delta \mathcal{A}_{rs}^i + \mathcal{D}_{rs}^i \right) x_t^i + \mu^i \mathcal{D}_t^i \right) x_t^i \rightarrow \min, \quad (2.3.6)$$

где  $\mu^i$  — математическое ожидание неполучения доходов по транспортным услугам в  $i$ -м состоянии при выполнении следующих условий:

1. Производительность парка автотранспортных средств, выраженная в машино-часах и тоннах в зависимости от вида услуг ( $s_1$  или  $s_2$ ), должна обеспечивать получение доходов от транспортным услугам

$$\sum_{s_1=1}^{S_1} \sum_{r=1}^R \mathcal{A}_{rs_1}^i t_H \Pi x_t^i \geq \mathcal{D}_t^1 / W_t^1; \quad i = \overline{1, J}; \quad t = \overline{1, T}; \quad (2.3.7)$$

$$\sum_{s_2=S_1+1}^S \sum_{r=1}^R \mathcal{A}_{rs_2}^i q_r z_{rs} x_t^i \geq \mathcal{D}_t^2 / W_t^2, \quad i = \overline{1, J}; \quad t = \overline{1, T}; \quad (2.3.8)$$

где  $z_{rs}$  — количество ездов автомобиля  $r$ -марки при оказании транспортной услуги, что равносильно количеству выполняемых заявок населения.

2. Развитие парка автотранспортных средств должно осуществляться с учетом выделяемых капитальных вложений

$$\sum_{r=1}^R \Pi_r \Delta \mathcal{A}_{rs}^i x_t^i \leq K_t, \quad i = \overline{1, J}; \quad s = \overline{1, S}; \quad t = \overline{1, T}. \quad (2.3.9)$$

3. Принимаемые решения учитывают целочисленность, т. е. состояние системы должно приниматься либо целиком, либо полностью отвергаться:

$$x_t^i = \begin{cases} 1, & \text{если состояние входит в оптимальную траекторию развития;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2.3.10)$$

Задача (2.3.6) — (2.3.10) является задачей динамического программирования, и для ее решения использован метод последовательного анализа вариантов. Ввиду отсутствия универсального алгоритма данного метода разработано специальное программное обеспечение решения задачи развития транспортной системы по обслуживанию населения. Сложность реализации алгоритма заключается в том, что каждую точку в пространстве состояний системы необходимо рассматривать в четырехмерном пространстве. Прежде всего, каждое состояние рассматривается во множестве упорядоченных пар  $(i, t)$ , а каждый элемент этого множества, в свою очередь,  $(s, r)$ . Все это увеличивает объем исходной информации и усложняет вычислительный процесс.

Таким образом, качественная постановка оптимизационной модели развития парка автотранспортных средств для обслуживания населения основывается на схеме планирования, включающей в себя прежде всего оценку развития транспортных услуг на перспективу.

Выбор оптимальной стратегии развития структуры парка автотранспортных средств в существующей системе планирования осуществляется при разработке пятилетних планов экономического и социального развития путем многоитерационной процедуры, в которой участвуют заинтересованные стороны, т. е. представители управления грузового автомобильного транспорта и транспортно-экспедиционного предприятия. В первом приближении оптимальная стратегия развития системы транспортно-бытового обслуживания населения определяется без учета ограничений, накладываемых на объем поставок новых видов автотранспортных средств. С введением ограничений на верхние пределы возможных поставок выбор оптимальной стратегии развития осуществляется путем изменения исходных состояний системы.

Анализ показателей и факторов, характеризующих ситуацию принятия решений о развитии системы транспортно-бытового обслуживания населения, показывает, что на стадии подготовки плана формирования парка автотранспортных средств существенное влияние оказывает фактор неопределенности, проявляющийся в характере поступления заявок населения на оказание транспортных услуг.

Отказ от детерминированности и переход к модели, учитывающей неполноту информации, являются закономерным этапом повышения ее адекватности.

#### **В.4. ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БАЗЫ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ**

Поиск путей улучшения удовлетворения потребностей населения в перевозках грузов и повышения интенсивности использования автотранспорта весьма затруднителен из-за отсутствия специализированной производственно-технической базы для оказания транспортно-бытовых услуг.

С целью выполнения комплекса транспортных услуг специализированное АТП должно иметь развитую базу, обеспечивающую работоспособность и эксплуатационную надежность автотранспортных средств.

Выполнение заказов населения может осуществляться путем специализации и более полного освоения ОПФ за счет расширения, реконструкции действующих и строительства новых АТП для транспортно-бытового обслуживания.

В данной модели ОПФ отражают мощности АТП. Проведение мероприятий по механизации и автоматизации процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей, модернизации и замене изношенного и устаревшего оборудования приводит как к повышению уровня использования производственных мощностей, так и к увеличению их объемов [46].

Создание новых и реконструкция существующих АТП в регионе должны производиться с учетом условий и объемов предстоящих перевозок, их изменения по периодам года и типа автотранспортных средств, основных технико-экономических показателей использования автомобильного транспорта, производства технического обслуживания и ремонта и др.

Расширение как форма воспроизводства ОПФ представляет собой процесс создания новых производственных мощностей в дополнение к действующим. К расширению относится строительство вторых и последующих очередей действующих АТП, производственных комплексов, участков, новых цехов и т. д.

Реконструкция как форма воспроизводства ОПФ представляет собой процесс обновления и качественного совершенствования функционирования производственных мощностей. Она осуществляется посредством модернизации и замены морально устаревшего и физически изношенного оборудования, механизации и автоматизации процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей, перепланировки и переустройства зданий и сооружений в связи с моральным износом или изменением технологии обслуживания и ремонта. К реконструкции относится также

строительство новых цехов и участков на действующих АТП взамен ликвидируемых, дальнейшая эксплуатация которых по техническим и экономическим условиям нецелесообразна. Реконструкция может производиться с целью: прироста производственных мощностей по техническому обслуживанию автотранспортных средств; улучшения технико-экономических показателей производственной деятельности АТП без прироста объема мощностей.

Техническое перевооружение действующих АТП как форма воспроизводства ОПФ представляет собой процесс обновления и совершенствования активной части действующих ОПФ. В результате технического перевооружения происходит качественное и количественное изменение мощностей на существующих площадях. Проведение этих работ полностью возмещает списание мощности и обеспечивает их прирост [47].

Пусть имеются  $N$  автотранспортных предприятий, выполняющих перевозки грузов по заявкам населения, а также допустимые вариации развития их производственной мощности  $M_n$ . Это значит, что каждое из АТП ( $n = 1, N$ ) либо существует, либо может быть построено.

Пусть при  $h = 1$  выполняются работы по поддержанию мощностей, при  $h = 2$  — по улучшению их использования, при  $h = 3$  — по техническому перевооружению АТП, при  $h = 4$  — по реконструкции, при  $h = 5$  — по расширению, при  $h = 6$  — по новому строительству. Условимся, что в течение планового периода  $[1, T]$  строительные работы проводятся только один раз. Если предположить, что они проводятся более одного раза, существенных изменений в последующих рассуждениях не появится, усложнится лишь система индексов в обозначениях номеров проектов, так как для каждого предыдущего проекта имеется строго определенный набор последующих.

Все рассматриваемые АТП региональной транспортной системы по обслуживанию населения разделим на две группы. К первой отнесем функционирующие АТП, на которых при необходимости в плановом периоде  $[1, T]$  могут быть начаты работы  $h$ -го вида ( $h = 1, 5$ ), и АТП, строительство которых начато в предплановом периоде. Ко второй отнесем АТП, строительство которых предполагается начать в плановом периоде ( $h = 6$ ).

Предположим, что для каждого  $n$ -го АТП может быть предложено  $P_n$  проектов проведения работ по созданию, приросту, поддержанию и улучшению использования мощностей.

Проведение работ в  $n$ -м АТП по  $P_n^h$ -му проекту,  $h = \overline{1, P_n}$ ,

относительно созданию на этой станции потенциальной мощности  $M_{n,n}^h$ . Термин «потенциальная мощность» применен для обозначения количества автомобилей, которые могут содержаться и быть обслужены в  $n$ -м АТП, построенном или реконструированном по  $p_n^h$ -му проекту.

Производственная мощность АТП отличается от потенциальной тем, что последняя включает в свое понятие не только производственные участки, но и количество автомобилей, содержащихся на нем.

Условимся, что производственная мощность каждого АТП с течением времени не обязательно должна увеличиваться, в некоторых случаях (при  $h = 1, 2$ ) она может сохраниться в начальном объеме или даже уменьшаться с одновременным улучшением качества оказываемых услуг, снижением текущих и непроизводительных затрат.

Ставится задача: определить для каждого исследуемого года  $t$  первоначальную мощность новых АТП  $M_{n,t}^0$ , мощность поэтапного развития  $M_{nt}$  для всех  $n = \overline{1, N}$ , номера проекта строительства или реконструкции и расширения соответствующих АТП, сроки ввода дополнительных мощностей с целью полного удовлетворения потребности во всех видах работ по техническому обслуживанию, диагностике и ремонту автомобилей в каждый год планового развития системы транспортно-бытового обслуживания населения, сумма затрат на проведение этих работ была бы минимальной при ограничениях капиталовложений по годам исследуемого периода планового развития.

Пусть для проведения работ по  $p_n^h$ -му проекту, начинаемых в  $t$ -м году на каждом  $n$ -м АТП, необходимы капиталовложения в размере  $K_{np_n^h t}$ .

Считаем, что они идут на строительные-монтажные работы, на приобретение оборудования, инструмента, инвентаря и т. п. и вносятся одновременно. Объем мощностей, вводимых в  $t$ -м году в  $n$ -м АТП за счет проведения работ по  $p_n^h$  му проекту, может быть определен по следующей формуле:

$$M_{nt} = \sum_{h=1}^H \lambda_{p_n^h} \sum_{\tau=0}^t \alpha_{np_n^h \tau} K_{np_n^h \tau}, \quad (2.4.1)$$

где  $\lambda_{p_n^h}$  — доля капиталовложений, предусмотренных проектом  $p_n^h$  и переходящих в основные производственные фонды;  $\alpha_{np_n^h \tau}$  — доля капиталовложений  $\tau$  прошлых лет, предусмотренных проектом  $p_n^h$ .

ренных проектом  $p_n^n$  на  $n$ -м АТП и обеспечивающих ввод мощностей.

Следует иметь в виду, что мощность АТП складывается из мощностей его производственных участков, т. е.

$$M_{nt} = \sum_{m=1}^{\mathfrak{M}} M_{nmt} = \sum_{m=1}^{\mathfrak{M}} \alpha_m Y_{nmt}, \quad (2.4.2)$$

где  $Y_{nmt}$  — количество производственных участков на  $n$ -м АТП по оказанию  $m$ -го вида работ в году  $t$ ;  $\alpha_m$  — переводной коэффициент, выражающий мощность одного производственного участка по оказанию  $m$ -го вида работ;  $M_{nmt}$  — мощность производственного участка на  $n$ -м АТП для оказания  $m$ -го вида работ в году  $t$ .

В силу того, что с одного производственного участка можно снимать один или несколько видов работ, в целях упрощения математической модели в формулах будет использоваться величина  $M_{nt}$ .

Известно, что весь производственный процесс в АТП можно подразделить на  $\mathfrak{B}$  самостоятельных видов обслуживания автомобилей. Если обозначить на  $n$ -м АТП производство  $m$ -го вида работ для  $r$ -й марки автомобиля в год  $t$  через  $\Theta_{nmrt}$ , то капитальные вложения в развитие мощностей, уровень их использования и парк оборудования связаны с объемами работ по техническому обслуживанию и ремонту следующими соотношениями:

$$\Theta_{nmrt} - dQ_{nrt} M_{nt} = dQ_{nrt} M_{nt}^0, \quad n = \overline{1, N}; m = \overline{1, \mathfrak{B}}; \\ r = \overline{1, R}; t = \overline{1, T}; \quad (2.4.3)$$

$$\sum_{r=1}^R dQ_{nrt} M_{nt} x_{npn^h_t} \geq \Theta_{nmt}^{nl} - \Theta_{nmt}^0; \quad (2.4.4)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R dQ_{nrt} M_{nt} x_{npn^h_t} \geq \Theta_{nmt}^{nl} - \sum_{n=1}^N \Theta_{nmt}^0. \quad (2.4.5)$$

$$\sum_{m=1}^{\mathfrak{M}} \sum_{r=1}^R \Theta_{nmrt} x_{npn^h_t} = \sum_{g=1}^G \mathcal{P}_{gnt}^0 \partial_{gt}, \quad (2.4.6)$$

где  $\Theta_{nmrt}$  — объем работ вида  $m$  на  $n$ -м АТП для автомобиля марки  $r$  в году  $t$ ;  $dQ_{nrt}$  — удельный объем услуг на  $n$ -м АТП для автомобиля марки  $r$  в году  $t$  с единицы мощности АТП;  $M_{nt}, M_{nt}^0$  — прирост мощностей на  $n$ -м АТП в году  $t$ , существующая мощность в начале года  $t$  соответственно;  $\Theta_{nmt}^0, \Theta_{nmt}^{nl}$  — достигнутый на начало года  $t$  и плановый объемы



работ в год  $t$  на  $n$ -м АТП по  $m$ -му виду работ;  $\partial_{gt}$  — объем работ, снимаемых с единицы оборудования  $g$ -го типа в году  $t$ ;  $\mathcal{P}_{gnt}^n$  — величина парка  $g$ -го типа оборудования на  $n$ -м АТП в году  $t$ .

Очевидно, что объем капитальных вложений в мероприятия по обеспечению прироста производственных мощностей, поддержанию и улучшению использования мощностей АТП не должен превосходить объем планируемых средств по капиталовложениям:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H K_{np_n^h} x_{np_n^h} \leq K_t, \quad t = \overline{1, T}. \quad (2.4.7)$$

Суммарное количество работающих, необходимое для проведения всех видов работ по развитию мощностей АТП, не должно превышать возможностей по трудовым ресурсам строительных организаций региона

$$\frac{\sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H K_{np_n^h}}{K_{ct}} \leq M_{ct}, \quad t = \overline{1, T}, \quad (2.4.8)$$

где  $K_{ct}$  — капиталовложения, которые может освоить один строитель согласно плану года  $t$ ;  $M_{ct}$  — возможности по трудовым ресурсам строительных организаций региона, определенные планом года  $t$ .

Расчетная величина потребности в оборудовании не должна превосходить величину, планируемую по поставкам

$$\sum_{n=1}^N (\mathcal{P}_{gnt} + \mathcal{P}_{gnt}^I) x_{np_n^h} \leq \mathcal{P}_{pt}^{np}, \quad g = \overline{1, G}; \quad t = \overline{1, T}, \quad (2.4.9)$$

где  $\mathcal{P}_{gnt}$  — потребность в приросте парка  $g$ -го типа оборудования, обусловленном строительством или реконструкцией  $n$ -го АТП в год  $t$ ;  $\mathcal{P}_{gnt}^I$  — потребность в замене оборудования  $g$ -го типа  $n$ -го АТП, обусловленной техническим износом или моральным старением в год  $t$ ;  $\mathcal{P}_{gt}^{np}$  — плановый объем поступок оборудования  $g$ -го типа, запланированный в году  $t$ .

Рост численности парка оборудования характеризуется следующим соотношением:

$$\mathcal{P}_{gnt}^h(t+1) = \mathcal{P}_{gnt}^0 + \mathcal{P}_{gnt}, \quad g = \overline{1, G}; \quad n = \overline{1, N}; \quad t = \overline{1, T}. \quad (2.4.10)$$

Сумма площадей, занимаемая производственными участками для выполнения всех видов работ по всем маркам

автомобилей, должна удовлетворять условию оптимальной степени застройки территории АТП, т. е.

$$\sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^R v_{nmr} Y_{nmt} = \sigma (SP)_{nt}, \quad (2.4.11)$$

где  $v_{nmr}$  — площадь  $n$ -го производственного участка для оказания работ  $m$ -го вида  $r$ -й маркой автомобиля;  $\sigma$  — коэффициент, характеризующий степень застройки территории АТП с учетом необходимости подъездных путей, маршрутов перегонки автомобилей и т. д. (рекомендуемая величина 0,4—0,5) [48];  $(SP)_{nt}$  — площадь территории  $n$ -го АТП в году  $t$ .

Развитие мощностей АТП в целом по региону не должно выходить за пределы, ограниченные наличным парком автомобилей. Поэтому справедливо следующее соотношение:

$$\frac{\sum_{g=1}^G \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^R P_{gmr} M_{nt}}{\varepsilon_t} = \varphi_t \mathcal{A}_t, \quad t = \overline{1, T}; \quad (2.4.12)$$

где  $\varepsilon_t$  — объем работ, приходящихся в году  $t$  на один автомобиль;  $\varphi_t$  — удельный вес автомобилей, обслуживаемых в году  $t$ .

В соотношениях (2.4.1) — (2.4.12) учтены условия формирования мощностей роста объема услуг за счет роста мощностей, выполнения планов как по видам работ для каждого АТП, так и в целом для региона. Учтены условия ограниченных поставок оборудования, выделения капитальных вложений и мощностей строительных организаций, рациональной планировки территории АТП и роста парка автомобилей по региону, а также их доли, приходящейся на самообслуживание. Искомыми величинами в соотношениях (2.4.1) — (2.4.12) являются  $\Theta_{nmrt}$ ,  $K_{np_n^h t}$ ,  $M_{nt}$ ,  $\mathcal{P}_{gnt}$ , которые не должны быть отрицательными.

Критерий оптимизации в поставленной задаче может быть представлен в следующем виде:

$$\mathcal{F}_T = \min \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \sum_{\substack{h \\ p_n=1}}^{p_n^h} (K_{np_n^h t} + \mathcal{A}_{np_n^h t}) \eta^t x_{np_n^h t}, \quad (2.4.13)$$

где  $K_{np_n^h t}$ ,  $\mathcal{A}_{np_n^h t}$  — капиталовложения и эксплуатационные расходы, произведенные в  $n$ -м АТП по  $p_n^h$ -му проекту в год  $t$ ;  $x_{np_n^h t}$  — булева переменная, указывающая, реализуется ли

план в  $n$ -м АТП по  $p_n^h$ -му проекту в год  $t$ ;  $\eta^t$  — коэффициент приводящий разновременных затрат.

ОПФ будем рассматривать как некоторую физическую систему, которая с течением времени может менять состояние под действием выбранного управления. Состоянием системы будем считать территориальное размещение существующих и перспективных АТП. Состояние каждого АТП будет определяться номерами проектов, предлагаемых для строительства, реконструкции, расширения, технического перевооружения и улучшения использования его мощностей. Номера проектов упорядочены таким образом, что большему номеру соответствует высшее значение потенциальной мощности АТП.

Следовательно, состояние системы характеризуется укрупненными количественными показателями: потенциальной мощностью проекта, капитальными вложениями, эксплуатационными затратами. Предполагается, что дальнейшее развитие системы не зависит от того, каким образом она приведена в существующее состояние.

Период планирования развития системы будем рассматривать как дискретную величину ( $t_0, t_0+1, \dots, t, \dots, T$ ), т. е. планирование выполнения соответствующих видов работ проводится с разбивкой периода исследования  $[1, T]$  по годам. Таким образом, процесс управления системой расчленен на  $T$  шагов.

В обусловленных терминах задача оптимизации развития ОПФ системы транспортного обслуживания населения может быть сформулирована следующим образом. В планируемом периоде необходимо определить такую последовательность состояний  $J_0, J_1, J_2, \dots, J_T$ , которая минимизирует критерий  $F_T$ .

Размерность сформулированной задачи (2.4.1) — (2.4.13) для региона обслуживания оказывается настолько велика, что решение ее стандартными методами линейного программирования и программными средствами, имеющими в матобеспечении ЭВМ, невозможно. Действительно, переменные задачи имеют 6 индексов ( $n, m, r, t, g, P_n^h$ ), каждый из которых изменяется в пределах от 1 до 30. Следовательно, общее число переменных в общей постановке (2.4.1) — (2.4.13) превышает  $10^6$ . В этих условиях для решения сформулированной задачи надо искать такие приемы и использовать такие свойства, которые позволяют понизить размерность задачи.

Учитывая эти обстоятельства, отметим следующие свойства критерия.

Критерий  $F_T$  является аддитивным, т. е. складывается из значений того же критерия, полученных на каждом отдельном шаге  $t$ . Значение функции-критерия зависит от затрат, накопленных в предыдущие интервалы времени, и затрат состояния  $J_{t-1}$ , из которого исследуется переход в состояние  $J_t$  на  $t$ -м шаге. Эти свойства аналогичны на каждом шаге и свидетельствуют о рекурсивности функции. Кроме того, они дают возможность вместо решения за один раз всей задачи (2. 4. 1.) — (2. 4. 13) разбить ее на ряд задач, каждая из которых минимизирует приведенные затраты (2. 4. 13) на переходах из состояний года  $t - 1$  в состояния года  $t$ . Их количество определяется списком проектов развития, реконструкции и нового строительства.

Такой подход обеспечивает резкое снижение числа вариантов решений и делает возможным практическое решение поставленной задачи методом динамической оптимизации, предложенным и развитым в [36, 48].

Этот метод позволяет:

- устанавливать экономически целесообразную последовательность этапов наращивания мощности АТП в регионе;
- определять экономически рациональные сроки перехода от одного состояния системы к другому;

- получать оптимальную траекторию развития системы ОПФ, обеспечивающую минимум критерия суммарных приведенных народнохозяйственных затрат за период  $[1, T]$  лет;

- широко варьировать любыми исходными данными для определения влияния вариантов проектных решений на оптимальное направление развития ОПФ АТП в регионе;

- оценивать варианты развития системы, близкие к оптимальному по величине критерия;

- решать конкретные задачи оптимизации проектных решений по выбору технических параметров ОПФ АТП.

Кроме того, метод решения поставленной задачи позволяет определять оптимальную тенденцию развития системы при случайных колебаниях в заданных границах размеров и темпов роста парка автомобилей в регионе и других показателей.

Построение динамических моделей исследования целесообразно еще потому, что при технико-экономическом обосновании принимаемых проектных решений часто не учитывают последствий чрезмерно экономных вариантов, которые потребуют больших затрат для приведения системы в соответствующее состояние в связи с изменившимися условиями эксплуатации, или чрезмерно капиталоемких

вариантов проектов с завышенной потенциальной мощностью, введение в действие которой можно было бы отнести на более поздний срок.

## 2.5. ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМЕ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ

Выявленные ТЭП максимальные потребности в автотранспортных средствах, как правило, не соответствуют возможностям АТП. Поэтому возникает задача рационального использования выделенного АТП количества автомобилей под заказы с учетом обеспечения населению равных условий их выполнения по всей номенклатуре услуг, что в наибольшей мере соответствует относительной оценке качества транспортного обслуживания населения.

В настоящее время принята концепция описания категории «качество транспортного обслуживания» в виде совокупности трех взаимосвязанных понятий (аспектов):

своевременность доставки;  
сохранность перевозимых грузов;  
удобство пользования предоставляемыми формами реализации транспортных услуг [49—51].

Методы оценки качества должны удовлетворять двум существенным требованиям. Во-первых, анализ различий качества транспортного обслуживания нужно проводить на возможно более широкой совокупности объектов. Во-вторых, привлекаемые показатели, определяющие качество транспортного обслуживания, во всех трех аспектах обязаны связываться, т. е. связываться простыми функциональными или статистическими зависимостями с выбранными ранее основными показателями размеров и производственных мощностей объектов.

В первом аспекте — своевременности доставки — целесообразно использовать категорию «резервов производственных фондов (мощностей)», утвердившуюся в экономической литературе [18, 50, 52—55]. Экономическая категория «резервные фонды» не имеет ничего общего с термином «резервы» в смысле скрытых, неиспользованных возможностей, поскольку «резервные фонды» сознательно отвлекаются из процессов общественного воспроизводства и по мере надобности периодически вновь вовлекаются в них [52].

Создание резервов производственной мощности на АТП (в объединениях, управлениях) служит необходимым усло-

вием гарантий своевременности транспортного обслуживания [50]. Ключевую роль в структуре резервов производственной мощности транспортной системы играют резервы автотранспортных средств — технически исправного, обеспеченного водителями подвижного состава. В структуре резервов автотранспортных средств (производственной мощности) АТП нужно разграничивать резервы для:

покрытия неравномерности потребностей в транспортном обслуживании (как плановой неравномерности, сезонности, периодичности, так и случайных, непредвиденных изменений);

сглаживания отклонений фактической мощности парка автотранспортных средств АТП от планируемой;

компенсации внешних условий функционирования АТП (природо-климатических, дорожно-эксплуатационных и т. д.).

Количественная оценка резервов производственной мощности АТП может быть произведена на основе взаимосвязи такого результативного показателя эффективности автотранспортного производства, как годовая производительность  $\omega$  единицы автотранспортных средств, с показателем производственной мощности АТП — годовым объемом  $Q$  невыполняемых услуг. Зависимости строятся по каждой форме реализации транспортных услуг ( $\omega \in W$ ): при реализации транспортных услуг автомобилями, работающими по сдельным тарифам, —  $\omega \in W^2$ ; при перевозке грузов автомобилями, работающими по повременным тарифам, —  $\omega \in W^1$ .

Ресурс автотранспортных средств, необходимых АТП для заданного объема услуг конкретного вида и формы, может быть рассчитан следующим образом:

$$\mathcal{A}_\omega = Q_\omega W^2 = \alpha_\omega + \beta_\omega Q_\omega,$$

где  $\mathcal{A}_\omega$  — среднегодовой ресурс автотранспортных средств АТП  $\omega$ -й специализации: среднесписочное количество автотонн грузоподъемности для  $\omega \in W'$ , среднесписочное число автомобилей для  $\omega \in W^1$ .

Ресурс транспортных средств АТП состоит из двух частей [49]:  $\beta_\omega Q_\omega$  — активный ресурс, пропорциональный объему выполняемых услуг;  $\alpha_\omega$  — резерв автотранспортных средств, гарантирующий своевременность транспортного обслуживания и не зависящий от объема услуг.

Измеряемый в автотоннах грузоподъемности резерв  $\alpha_\omega$  автотранспортных средств, выполняющих перевозки по сдель-

ным тарифам, для простоты анализа пересчитывается в число автомобилей:

$$\mathcal{A}_w = \alpha_w q_w^{-1},$$

где  $q_w$  — средняя грузоподъемность подвижного состава  $w$ -й специализации, работающего по сдельным тарифам.

АТП, как правило, не заинтересованы в создании дополнительных резервов, поскольку они, хотя и позволяют гарантировать своевременность транспортного обслуживания при различных и неизбежных вариантах потребностей, в целом снижают показатели прибыли и рентабельности, поскольку не увеличивают общий объем выполняемых услуг и получаемых АТП доходов.

Определяющим фактором сохранности перевозимых грузов следует считать соответствие между свойствами перевозимых грузов и технологическими параметрами способа транспортного обслуживания (прежде всего, имеется в виду тип кузова, т. е. специализация подвижного состава). Анализ может быть проведен по такому показателю, как доля перевозок грузов в контейнерах и пакетах, специализированном подвижном составе, т. е. доля прогрессивных технологических способов транспортного обслуживания, в общем объеме транспортных услуг.

Важным фактором качества является удобство форм предоставляемых транспортных услуг. Под ней понимаются важнейшие агрегированные характеристики способа удовлетворения потребностей в транспортном обслуживании. В рамках каждой формы остаются многочисленные варианты технологических решений, соответствующих различным видам потребностей.

Приведем описание математической модели оптимального использования автотранспортных средств в некотором регионе, которая заключается в следующем (используются обозначения, введенные ранее). Имеется  $N$  АТП, осуществляющих перевозки грузов  $S$  по заявкам населения, которые формируются в регионе в едином центре управления грузовыми перевозками (ТЭП). ТЭП заказывает автомобили

в количестве  $\mathcal{A} = \sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R \mathcal{A}_{nr}$ . Каждое АТП имеет в наличии  $\mathcal{A}_{nr}$  автотранспортных средств  $r$ -й марки.

В каждый период функционирования (год, квартал, месяц, декада, день) ТЭП распределяет АТП заказы в виде необходимого количества автомобилей  $\mathcal{A}_{nrs}$   $r$ -й марки под  $s$ -й вид услуг.

Для АТП объем перевозок в определенный период функционирования определяется формулой [44]

$$Q_{nrs} = \frac{q_r \gamma_{rs}}{\frac{l_{nr}}{v_r^T \beta_{nr}} + t_{rs}^{n-p}} t_H \mathcal{A}_{nr} \alpha_{nr}, \quad (2.5.1)$$

$$n = \overline{1, N}; \quad r = \overline{1, R}; \quad s = \overline{1, S},$$

где  $l_{nr}$  — средний пробег автомобиля  $r$ -й марки в  $n$ -м АТП;  $v_r^T$  — техническая скорость автомобиля  $r$ -й марки.

Суммарный объем перевозок, который распределяется между всеми АТП, задается таким образом:

$$Q = \sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S Q_{nrs}. \quad (2.5.2)$$

Одним из главных показателей хозяйственной деятельности АТП является прибыль. В зависимости от ее размеров предприятия планируют расширение своих производственных мощностей, размеры премирования, мероприятия по культурно-бытовому строительству и пр. На величину прибыли оказывают непосредственное влияние объем выполненной транспортной работы, величина средней доходной ставки и себестоимость по всем видам деятельности автотранспортных предприятий. На прибыль от перевозок грузов влияет достигнутый уровень технико-экономических показателей АТП.

Прибыль, получаемая  $n$ -м АТП от выполнения  $r$ -й маркой автомобилей  $s$ -го вида услуг, определяется формулой

$$\Pi_n(Q_{nrs}) = (0,98 d_{nrs} - C_{nrs}) Q_{nrs}, \quad (2.5.3)$$

где  $\Pi_n(Q_{nrs})$  — прибыль, получаемая  $n$ -м АТП от выполнения автомобилем  $r$ -й марки  $s$ -го вида услуг в объеме  $Q_{nrs}$ ;  $d_{nrs}$  — средняя доходная ставка  $n$ -го АТП при выполнении автомобилем  $r$ -й марки  $s$ -го вида услуг;  $C_{nrs}$  — себестоимость перевозки груза автомобилем  $r$ -й марки по  $s$ -му виду услуг, исчисленная по затратам, учитываемым в  $n$ -м АТП.

Выражение (2.5.3) может быть преобразовано к виду

$$\Pi_n(Q_{nrs}) = 0,98 \mathcal{D}_{nrs} - \mathcal{Z}_{nrs} \\ n = \overline{1, N}; \quad r = \overline{1, R}; \quad s = \overline{1, S}, \quad (2.5.4)$$

где  $\mathcal{D}_{nrs}$  — доход, получаемый  $n$ -м АТП при выполнении автомобилями  $r$ -й марки  $s$ -го вида услуг;  $\mathcal{Z}_{nrs}$  — стоимость перевозки груза  $n$ -м АТП в объеме  $Q_{nrs}$ .



Прибыль состоит из разницы между доходом  $0,98 Q_{nrs}$ , получаемым  $n$ -м АТП при выполнении  $s$ -й транспортной услуги автомобилем  $r$ -й марки, и затратами на выполнение этих перевозок, прочих работ и услуг (согласно действующим тарифам).

Второе выражение в (2. 5. 4) представляет собой произведение значения себестоимости на объем оказания автомобилем  $r$ -й марки  $s$ -й транспортной услуги  $n$ -м АТП.

Себестоимость перевозок является важным показателем эффективности организации транспортного процесса, характеризующим затраты АТП на перевозку 1 т груза.

Значение себестоимости 1 т груза, перевезенного автомобилем  $s$ -й марки по  $j$ -му виду услуг в  $n$ -м АТП, определяется по формуле [44]

$$C_{nrs} = \frac{l_{nr}}{q_r \gamma_{rs} \beta_{nr}} \left( C_{nrs}^{\text{пер}} + \frac{C^{\text{пост}}}{v_r^T} \right) + \frac{C_{nrs}^{\text{пост}} l_{rs}^{п-р}}{q_r \gamma_{rs}},$$

$$n = \overline{1, N}, r = \overline{1, R}, s = \overline{1, S}; \quad (2.5.5)$$

где  $C_{nrs}^{\text{пер}}$  — переменные расходы на  $n$ -м АТП на 1 км пробега автомобилем  $r$ -й марки, состоящие из затрат на топливо, смазочные и прочие эксплуатационные материалы, износ и ремонт автомобильных шин, текущий ремонт и техническое обслуживание автомобиля, комплексный ремонт автотранспортного средства и т. п.;  $C_{nrs}^{\text{пост}}$  — постоянные расходы на  $n$ -м АТП на 1 ч работы автомобиля  $r$ -й марки, состоящие из затрат на заработную плату водителей, накладные расходы и амортизацию, на восстановление автотранспортного средства.

Для снижения себестоимости автомобильных перевозок необходимо постоянно улучшать технико-эксплуатационные показатели использования автотранспортных средств и строго соблюдать режим экономии. Одним из способов решения этой проблемы является установление оптимального соответствия между технико-эксплуатационными характеристиками автотранспортных средств и параметрами перевозимых грузов.

На грузовом автомобильном транспорте имеются значительные резервы для обеспечения экономного использования автотранспортных средств, что позволяет АТП снижать себестоимость перевозок и увеличивать прибыль.

С учетом (2. 5. 5) величина  $Z_{nrs}$ , входящая в (2. 5. 4), принимает вид

$$Z_{nrs} = \left[ \frac{l_{nr}}{q_r \gamma_{nr} \beta_{nr}} \left( C_{nrs}^{\text{пер}} + \frac{C_{nrs}}{v_r^T} \right) + \frac{C_{nrs}^{\text{пост}} l_{rs}^{п-р}}{q_r \gamma_{rs}} \right] Q_{nrs}. \quad (2.5.6)$$

Каждое АТП имеет более или менее широкие возможности представления в ТЭП информации с учетом особенностей использования автотранспортных средств. Но эффективность их будет снижена при отсутствии заинтересованности.

Итак, если объем перевозок грузов, выполненных  $n$ -м АТП с достаточным уровнем качества, обозначим через  $Q_n^1$ , а объем перевозок, выполненных некачественно, — через  $Q_n^2$ , то

$$Q_n = Q_n^1 + Q_n^2, \quad n = \overline{1, N}.$$

Каждое  $n$ -е АТП характеризуется функцией  $Z_n(Q_n)$ , определяющей затраты на выполнение перевозок в объеме  $Q_n$ .

Пусть за выполненные объемы перевозок  $Q_n$  ТЭП выплачивает каждому  $n$ -му АТП средства по двум тарифам:

1. За объемы перевозок  $Q_n^1$ , выполненные с достаточным уровнем качества, по расчетному тарифу  $C_s^1$ , который определяется исходя из уровня необходимых затрат АТП на выполнение одного тонно-километра и нормального размера прибыли.

2. За объемы перевозок  $Q_n^2$ , выполненные с нарушением технологических операций, по расчетному тарифу  $C_s^2$ , обеспечивающему лишь возмещение себестоимости перевозок (2.5.5) без прибыли.

За каждый рейс, запланированный ТЭП, но сорванный по вине АТП, к нему применяются штрафные санкции. Это необходимо для того, чтобы АТП было заинтересовано выполнить запланированные по расписанию рейсы, даже если по каким-либо причинам они будут выполнены с нарушением технологических операций. Это позволяет предотвратить отказы АТП выполнять фактически трудоемкие, но низко расцениваемые по действующим тарифам услуги [56].

За выполненные объемы перевозок грузов  $Q_n$  каждое  $n$ -е АТП получает доходы (в рублях):

$$\varrho_n(Q_n) = Q_n^1 C_s^1 + Q_n^2 C_s^2 - \Pi_n, \quad n = \overline{1, N}; \quad s = \overline{1, S}, \quad (2.5.7)$$

где  $\Pi_n$  — сумма штрафов за сорванные рейсы.

Прибыль (2.5.4) по  $n$ -му АТП выразится как разность между доходами от грузовых перевозок и суммой расходов на перевозки  $Z_n(Q_n)$ , а также отчислений на строительство автомобильных дорог:

$$\Pi_n(Q_n) = \varrho_n(Q_n) - Z_n(Q_n) Q_n, \quad n = \overline{1, N}. \quad (2.5.8)$$

В целом по ТЭП заданы объем перевозок и количество транспортных средств для его выполнения:

$$Q = \sum_{n=1}^N Q_n; \mathcal{A} = \sum_{n=1}^N \mathcal{A}_n. \quad (2.5.9)$$

Общим критерием системы естественно считать суммарные затраты на перевозки

$$Z(Q) = \mathcal{E} + E_H K, \quad (2.5.10)$$

где  $\mathcal{E}$  — общая сумма эксплуатационных затрат системы за плановый период;  $K$  — общая сумма капитальных вложений в развитие системы.

Для каждого периода (год, квартал) функционирования системы ТЭП располагает не точными значениями  $(q_r, \gamma_{rs}, \beta_{nr}, \alpha_{nr})$ , а лишь границами изменения этих величин, допустимых с точки зрения ТЭП.

Заметим, что критерий (2.5.10) включает кажущиеся, а не действительные затраты, что определяется условиями (2.5.9) функционирования системы. Поэтому ТЭП, решая поставленную задачу, может минимизировать не действительные, а кажущиеся суммарные затраты (2.5.10), в то время как реальные доходы отдельных АТП определяются уравнениями (2.5.7) и (2.5.8).

Каждое  $n$ -е АТП сообщает ТЭП оценку своих возможностей  $\mathcal{A}_n$ . ТЭП формирует вектор оценок  $\mathcal{A} = \{\mathcal{A}_1, \dots, \mathcal{A}_n, \dots, \mathcal{A}_N\}$ . Далее на основе вектора оценок ТЭП формирует управление  $C_s$  ( $C_s = 1, 2$ ) и план  $Q(\mathcal{A}) = \{Q_1(\mathcal{A}_1), \dots, Q_N(\mathcal{A}_N)\}$ .

Выбираемые ТЭП объемы перевозок  $Q_n(\mathcal{A}_n)$  для каждого  $n$ -го АТП пропорциональны оценкам  $\mathcal{A}_n$ . Величина  $\gamma(\mathcal{A})$  выбирается так, чтобы  $\sum_{n=1}^N Q_n(\mathcal{A}_n)$  была равна  $Q$ . Это достигается при

$$\gamma(\mathcal{A}) = Q \left[ \sum_{n=1}^N \mathcal{A}_n \right]^{-1}. \quad (2.5.11)$$

Поскольку ТЭП известны только оценки  $\{\mathcal{A}_n\}$ , то задача имеет следующий вид:

$$\sum_{n=1}^N Z_n(Q_n) \mathcal{A}_n \rightarrow \min; \sum_{n=1}^N Q_n = Q. \quad (2.5.12)$$

Процедура формирования  $C_s$  и  $Q_n(\mathcal{A}_n)$  определяет один из возможных принципов управления. В случае жесткого централизованного управления, когда величина  $C_s$  ( $C_s = 1, 2$ )

задана для всех АТП и не меняется от периода к периоду, план  $Q_n(\mathcal{A}_n)$  определяется выражением

$$Q_n = \mathcal{A}_n Q_n \left( \sum_{n=1}^N \mathcal{A}_n \right)^{-1}. \quad (2.5.13)$$

Подставляя (2.5.11) в выражение (2.5.13), получаем  $Q_n = \gamma(\mathcal{A}) \mathcal{A}_n$ .

Далее производим подсчет функций по выражениям (2.5.8) и (2.5.10).

Каждое  $n$ -е АТП помимо количественных оценок  $\mathcal{A}_n$  представляет ТЭП вторую оценку  $\Phi_n$ , которая также влияет на объем  $Q_{nrs}$  (2.5.1) и себестоимость перевозок  $C_{nrs}$  (2.5.5). При определенных вариациях величин технико-эксплуатационных показателей ( $l_{nr}$ ,  $q_r$ ,  $\gamma_{rs}$ ,  $\beta_{rs}$ ), характеризующих используемый подвижной состав, можно достичь снижения себестоимости и увеличения объемов перевозок.

Рассмотрим процесс управления для данного случая. В каждый период функционирования все АТП сообщают в ТЭП свои оценки  $\Phi_n$ , на основании которых формируются план

$$Q(\Phi) = \{Q_{nrs}(\Phi_n)\}, \quad n = \overline{1, N}, \quad r = \overline{1, R}; \quad s = \overline{1, S};$$

и доход

$$\mathcal{D}(\Phi) = \{\mathcal{D}_{nrs}(\Phi_n)\}, \quad n = \overline{1, N}, \quad r = \overline{1, R}; \quad s = \overline{1, S}.$$

По величинам  $Q_{nrs}(\Phi_n)$  и  $\mathcal{D}_{nrs}(\Phi_n)$  каждое АТП определяет свой выигрыш с учетом использования видов и модификаций автотранспортных средств. Процедура формирования  $Q(\Phi)$  и  $\mathcal{D}(\Phi)$  определяет закон управления, причем  $\mathcal{D}(\Phi)$  не изменяется от одного периода к другому.

Ввиду того что сообщенные каждым АТП оценки  $\Phi_n$  формируют план перевозок  $Q_{nrs}(\Phi_n)$  с соблюдением условия

$$\sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S Q_{nrs}(\Phi_n) = Q, \quad (2.5.14)$$

управляющий орган определяет коэффициент  $\gamma(\Phi)$ , с помощью которого можно установить равновесие системы. т. е. объемы перевозок выбираются пропорционально заданным оценкам с учетом условий (2.5.14) и

$$\gamma(\Phi) = Q / \sum_{n=1}^N \Phi_n; \quad (2.5.15)$$

$$Q_{nrs}(\Phi_n) = \gamma(\Phi) \Phi_n, \quad n = \overline{1, N}; \quad s = \overline{1, S}; \quad r = \overline{1, R}. \quad (2.5.16)$$

Если бы ТЭП имел точную информацию о возможностях АТП, т. е. данные об использовании автотранспортных средств при перевозке тех или иных грузов, то для получения оптимального распределения плановых заданий  $Q_{nrs}$  ему необходимо было решить задачу

$$\min \sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \left[ \frac{l_{nr}}{q_r \gamma_{nr} \beta_{nr}} \left( C_{nrs}^{\text{пер}} + \frac{C_{nrs}^{\text{пост}}}{v_r^T} \right) + \frac{C_{nrs}^{\text{пост}} t_{rs}^{п-р}}{q_r \gamma_{nr}} \right] Q_{nrs} \quad (2.5.17)$$

при условии выполнения (2.5.2).

Ввиду того что управляющему органу не известны точные значения  $l_{nr}$ ,  $q_r$ ,  $\gamma_{nr}$ ,  $\beta_{nr}$ , а известны только граничные условия, при которых они могут варьироваться, и каждое АТП, сообщая информацию о затратах на перевозку грузов, преследует свои хозяйственные цели, возникает проблема получения достоверной информации о затратах на перевозку и решения задачи на основе принципа согласованного управления, учитывающего дополнительные условия согласования.

Условие согласования имеет вид

$$P_n(Q_{nrs}) = \max [0, 98 \varphi_{nrs}(\Phi_n) - C_{nrs}(\Phi_n)] Q_{nrs}(\Phi_n), \\ n = \overline{1, N}; r = \overline{1, R}; s = \overline{1, S}. \quad (2.5.18)$$

При согласованном управлении ТЭП решает задачу (2.5.2), (2.5.17), (2.5.18). Выполнение условия согласования обеспечивается соответствующим выбором величины  $Q_{nrs}(\Phi_n)$ , которая определяется согласно (2.5.16), а значение  $\varphi(\Phi)$  — из (2.5.15).

Значение функции-критерия во всем рассматриваемом интервале времени представляет собой сумму вкладов каждого  $t$ -го шага этого интервала. Он зависит от суммы вкладов шагов, предшествующих  $(t-1)$ -му шагу интервала, и состояния двух шагов интервала  $\{(t-1)$  и  $t\}$ , что свидетельствует о рекурсивности функции.

Свойства аддитивности и рекурсивности функции используются для построения достаточно простых вычислительных процедур.

Опишем алгоритм моделирования принятия управленческих решений оптимизации использования автотранспортных средств в некотором регионе.

1. Уточняется ситуация, в которой необходимо принять управленческое решение. Определяется задача рационального использования автотранспортных средств, от решения которой зависит эффективность транспортного обслуживания населения. Устанавливаются показатели, интересующие все звенья управления автомобильным транспортом — начи-

ная от АТП и кончая Министерством автомобильной промышленности, выпускающей автотранспортные средства, и различными планирующими органами, осуществляющими его распределение.

2. Определяется цель решения задач и рационального использования автотранспортных средств. Устанавливаются плановые показатели по объемам грузовых перевозок по заявкам населения, а также показатели такой сопутствующей обеспечивающей системы как транспортная система региона, имеющая резервные ресурсы для выполнения плана.

3. Устанавливаются возможности ресурсов автомобильных предприятий, направленные на обслуживание населения.

4. Уточняется соответствие возможностей ресурсов обеспечивающих систем целям решения задач рационального использования автомобилей в некотором регионе.

5. Если соответствия нет, пересматриваются цели и выбираются другие показатели, позволяющие определить нужное количество и структуру парка автотранспортных средств в некотором регионе, а также обеспечивающие заданный уровень обслуживания населения при существующих ограничениях на ресурсы.

6. На основании выбранных возможностей обеспечивающих систем устанавливается характер критерия.

7. Составляется прогноз развития системы транспортно-бытового обслуживания населения на исследуемый период, т. е. определяются параметры воздействия управления на систему (экономическая интерпретация модели).

8. Разрабатываются математические модели решения и анализа задач оптимального использования подвижного состава при транспортном обслуживании населения.

9. Проверяется адекватность разработанных моделей действующей системе организации использования автотранспортных средств.

10. В случае несоответствия моделей их следует дополнить необходимой информацией, расширяющей возможности моделей и приближающей их к реальной ситуации использования автотранспортных средств при выполнении заявок населения на перевозку грузов.

11. Формируется множество возможных вариантов поставленных задач.

12. Анализируются варианты решений.

13. Выбирается по соответствующей модели оптимальный вариант использования автотранспортных средств при обслуживании населения в рассматриваемом регионе.

14. Проверяются возможные уровни экономических пока-

кателей, участвующих в решении задач по рациональному использованию автотранспортных средств.

15. В случае, если показатели достигают неблагоприятных для функционирования всей системы уровней, вносятся коррективы в информационное обеспечение моделей для получения новых решений.

16. Если показатели имеют уровни, соответствующие данным функционирования системы, проверяется поведение всех ее параметров, находящихся во взаимосвязи с обеспечивающей транспортной системой региона.

17. Несовместимость параметров принятого решения с параметрами обеспечивающей системы обуславливает необходимость рассмотрения других решений, близких к оптимальному.

18. При совместимости показателей принятого решения с параметрами других элементов системы устанавливаются контрольные данные всех элементов системы.

19. Подготавливается проект управленческого решения по использованию автотранспортных средств в процессе выполнения заказов населения на перевозку грузов и распределение их между транспортно-экспедиционными агентствами, специализирующимися на определенных видах транспортных услуг.

Рассмотренные стадии моделирования принятия управленческого решения дают представление о последовательности выполнения действий. Включение в данную схему математических моделей с использованием ЭВМ дополняет интуитивный анализ лица, принимающего решение.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ  
И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ  
СИСТЕМЫ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ  
С УЧЕТОМ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА**

**3.1. АНАЛИЗ ПЛАНА ТРАНСПОРТНОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ  
ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗОВ С УЧЕТОМ ЕГО ЭЛАСТИЧНОСТИ**

Разработанный оптимальный план развития структуры парка автотранспортных средств для обслуживания населения в регионе согласно модели (2.3.6) — (2.3.10) не учитывает возможности использования в процессе функционирования ТСОИ взаимозаменяемого подвижного состава. Тем не менее при решении вопросов увеличения прибыли ТЭП приходится решать такую проблему, как использование транспортных средств, которые имеют более низкую себестоимость и по своим техническим параметрам могут выполнять те же виды транспортных услуг.

Опыт решения задачи показывает, что использование только прямых результатов оптимизации не в полной мере удовлетворяет требованиям специалистов-практиков. В связи с этим после решения следует осуществлять послеоптимизационный анализ.

Под воздействием комплекса внешних и внутренних случайных факторов складываются ситуации, когда возникает проблема оценки вариантов плана формирования структуры парка автотранспортных средств. Эти ситуации имеют место в связи с недостаточным количеством автотранспортных средств в АТП, ограничивающих реализацию плана перевозок грузов, и когда при оценке вариантов плана необходимо анализ целесообразности использования работоспособных автомобилей определенных марок согласно экономическим расчетам снятых и замененных более совершенными марками и модификациями. Требование использовать их до срока списания может быть исключено из последующих рассуждений. Такие и подобные рекомендации, которые даются для отдаленного момента времени, хотя и подкрепляются экономическими расчетами, могут вызвать естественные субъективные, а подчас и объективные возражения.

В этих условиях представление плана транспортного обслуживания населения как сложной системы с разнообразными вероятностными характеристиками существенно



повышает адекватность динамической экономико-математической модели перспективного оптимального планирования реальному процессу функционирования парка автотранспортных средств в системе бытового обслуживания населения.

Анализ и учет вероятностных характеристик при выборе вариантов перспективного плана являются необходимыми предпосылками эффективного решения поставленной задачи.

Разработка нескольких вариантов плана функционирования ТСОИ, которая прежде всего состоит в рациональном распределении транспортных средств по видам услуг, позволяет с учетом всех факторов, не поддающихся формализации, выбрать план, отличающийся наибольшей гибкостью при перевозке грузов по заявкам населения с минимальными затратами всех видов ресурсов. Ниже приводится один из подходов к выбору плана распределения автотранспортных средств для перевозки грузов по заявкам населения в регионе.

Экономико-математическая модель распределения автотранспортных средств между видами услуг заключается в следующем. Имеется  $N$  автотранспортных предприятий, каждое из которых располагает  $\mathcal{A}_{nrs}$  автомобилями различных марок  $R$ . ТЭП и АТП оказывают  $S$  видов транспортных услуг в регионе. В ТЭП в течение планового периода поступает  $Z_s$  заявок по  $s$ -м видам услуг.

Для перевозки груза необходимы автомобили  $r$ -й марки грузоподъемностью  $q_r$ . При этом при перевозке  $s$ -го вида грузов указывается коэффициент использования грузоподъемности транспортного средства  $\gamma_{rs}$ . Стоимость перевозки 1 т  $n$ -го вида грузов автомобилями  $r$ -й марки определяется в соответствии с установленными тарифами. Искомой величиной  $\mathcal{A}_{nrs}$  является количество автомобилей  $r$ -марки  $n$ -го АТП, необходимое для перевозки  $s$ -го вида груза. Должна быть выполнена заданная АТП работа по каждой группе марок автотранспортных средств, находящихся в эксплуатации:

$$\sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \mathcal{A}_{nrs} \omega_{nrs} = Q_n, \quad n = \overline{1, N}, \quad (3.1.1)$$

где  $\omega_{nrs}$  — годовая производительность автомобиля  $r$ -й марки при выполнении  $s$ -й услуги  $n$ -м АТП. Должны быть удовлетворены все заказы, поступающие в ТЭП от населения:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R \frac{\mathcal{A}_{nrs} \omega_{nrs}}{v_{rs}} \geq Z_s, \quad s = \overline{1, S}, \quad (3.1.2)$$

где  $v_{rs}$  — среднее значение заказа (в тоннах) по  $s$ -й услуге, которая может быть выполнена автомобилями  $r$ -й марки.

Общая потребность в автотранспортных средствах, участвующих в обслуживании населения, должна быть равна количеству автомобилей  $r$ -й марки в  $n$ -м АТП:

$$\sum_{s=1}^S \mathcal{A}_{nrs} = \overline{\mathcal{A}}_{nr}, \quad n = \overline{1, N}; \quad r = \overline{1, R}. \quad (3.1.3)$$

Выполнение планового задания по объемам перевозок каждым АТП должно осуществляться при минимальных суммарных затратах на перевозку грузов любой группой автотранспортных средств, т. е. необходимо найти

$$\mathcal{F} = \min \sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \mathcal{A}_{nrs} C_{nrs}. \quad (3.1.4)$$

Решение данной задачи осуществляется по описанной ранее схеме (см. п. 2.2). Полученные решения представляют собой набор вариантов функционирования ТСОИ с учетом характера перевозимых грузов, места их отправки и доставки, расположения автотранспортного предприятия.

Характер неоднозначной зависимости выходных параметров, получаемых в результате решения указанной задачи, от входных (зависимость планов распределения транспортных средств для перевозки грузов от технико-эксплуатационных показателей работы автомобильного транспорта и характера перевозимых грузов), требование гибкости принимаемых планов обуславливают потребность в учете резервов ресурсов (автотранспортных средств). Эти резервы могут быть получены за счет более рационального использования подвижного состава, а именно увеличения коэффициента использования грузоподъемности автомобиля, коэффициента использования пробега и улучшения других технико-эксплуатационных показателей работы автотранспорта. Использование взаимозаменяемых марок автомобилей с нашей точки зрения является наиболее эффективным способом управления гибкостью плана.

Вероятностная характеристика эластичности выбираемых планов использования автотранспортных средств определяется как способность их к таким перестройкам под воздействием внутренних и внешних факторов, которые обеспечивают выполнение заданного объема грузовых перевозок. На транспорте понятие эластичности применяется для исследования эластичности затрат при определенном способе распределения автотранспортных средств, выполняющих плановые задания.

Под эластичностью плана будем понимать отношение зависимости переменной (транспортная работа) к изменениям одной или нескольких независимых (например, количество автотранспортных средств) [57].

Коэффициент эластичности плана в данном случае представляет собой отношение изменения плановых объемов перевозок  $Q_n^{пл}$  к изменениям количества автотранспортных средств  $A_{nr}$ , выполняющих заказы населения, т. е.

$$e_n = \frac{\Delta Q_n}{Q_n^{пл}} / \frac{A_{nr}^{рес}}{A_{nr}}, \quad n = \overline{1, N}; \quad r = \overline{1, R};$$

$A_{nr}^{рес}$  — предельно возможное количество полученных в бытке автотранспортных средств  $r$ -й марки в  $n$ -м АТП;  $Q_n$  — возможное отклонение объемов перевозок при выполнении их избыточным количеством автотранспортных средств  $n$ -го АТП.

Согласно теории об эластичности [57] абсолютная величина коэффициента эластичности  $e_n$  характеризует влияние изменения количества автотранспортных средств или же их различного сочетания при перевозке грузов в регионе на выполнение объемов перевозок:

если  $|e_n| < 1$ , то рассматриваемый план неэластичный, т. е. жесткий;

если  $|e_n| = 1$ , то изменение количества автотранспортных средств или же их вариации прямо пропорционально влияют на выполнение объемов перевозок;

если  $|e_n| > 1$ , то незначительные изменения в транспортных средствах значительно улучшают план выполнения объемов перевозок.

Пусть в результате решения задачи (3.1.1) — (3.1.4) получено множество вариантов  $\mathcal{B}$ , на котором определен критерий, и соответствующий им вектор первоначального количества автотранспортных средств, участвующих в выполнении планового задания,  $A_n = \{A_{n1}, \dots, A_{n\hat{r}}, \dots, A_{nR}\}$ . Расположим марки автотранспортных средств и соответствующие их количества так, что первые значения компонент  $\{A_{n1}, \dots, A_{n(\hat{r}-1)}\}$  вектора  $A_n$  являются взаимозаменяемыми, остальные же  $\{A_{n\hat{r}}, \dots, A_{nR}\}$  будут соответствовать имеющимся в АТП специализированным автомобилям и не могут быть взаимозаменяемы, т. е.  $1 < \hat{r} < R$ .

Предположим, что в результате решения задачи (3.1.1) — (3.1.4) получен вариант распределения автотранспортных

средств между ТЭА для перевозки соответствующих видов грузов населения, который представляет собой вектор

$$\mathcal{A}_n^{\text{опт}} = \{\mathcal{A}_{n1}^{\text{опт}}, \dots, \mathcal{A}_{n(\hat{r}-1)}^{\text{опт}}, \mathcal{A}_{nr}^{\text{опт}}, \dots, \mathcal{A}_{nr}, \dots, \mathcal{A}_{nR}^{\text{опт}}\},$$

$$n = \overline{1, N}.$$

Для первых компонент  $\{\mathcal{A}_{n1}^{\text{опт}}, \dots, \mathcal{A}_{n(\hat{r}-1)}^{\text{опт}}\}$  вектора  $\mathcal{A}_n^{\text{опт}}$  выполняются условия

$$\mathcal{A}_{n(\hat{r}-1)} - \mathcal{A}_{n(\hat{r}-1)}^{\text{опт}} = 0; \quad (3.1.5)$$

$$\mathcal{A}_{nr} - \mathcal{A}_{nr}^{\text{опт}} = \mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}} > 0, \quad (3.1.6)$$

где  $\mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}}$  — избыточное количество автотранспортных средств  $\hat{r}$ -й марки в  $n$ -м АТП.

Выражение (3.1.5) показывает, что при перевозке грузов спользуются только первые  $\hat{r}$ -е марки автомобилей, а (3.1.6) — что использование  $\hat{r}$ -й марки автотранспортного средства не равноценно использованию другой марки автомобиля при условии, что  $\hat{r} = \bar{r}, R$ , т. е.  $\mathcal{A}_{nr} = k_{rr'} \mathcal{A}_{nr'}$ ,  $r' = \overline{1, (\hat{r} - 1)}$ , где  $k_{rr'}$  — коэффициент замены  $\hat{r}$ -й марки автотранспортного средства  $r'$ . А это значит, что для перевозки груза может использоваться, например, не один автомобиль большой грузоподъемности, а несколько автомобилей меньшей, и наоборот. В связи с этим изменяется и величина затрат  $C_{nr}$  в функции цели (3.1.4). При значительном возрастании критерия  $|e_n| < 1$ , т. е. говорят, что план неэластичный, а следовательно, не эффективный. Более эластичен такой план, в котором значения критерия незначительного отличаются от оптимального, а возможные замены одних марок автомобилей другими позволяют более рационально использовать автотранспорт при перевозке грузов населения.

Если задать ограничения по затратам при изменении величины  $C_{nr}$ , то можно получить различные сочетания используемых средств по маркам.

Таким образом, для характеристики влияния способа использования автотранспортных средств на выполнение планового задания по перевозке грузов можно применить понятие эластичности плана по затратам, необходимым для перевозки грузов. При этом чем выше эластичность замены одних марок автотранспортных средств другими, тем в больших пределах они могут заменять друг друга. При нулевой эластичности возможность замены отсутствует. В этом случае должен использоваться специализированный под-

вижной состав при перевозке грузов. Использование коэффициента эластичности в сочетании с решением оптимизационной задачи (3.1.1)—(3.1.4) позволяет принять более гибкий план работы автотранспортного предприятия.

Выработка последовательной и целенаправленной стратегии развития транспортной системы по обслуживанию населения должна опираться на всесторонний анализ структуры ее основных производственных фондов.

На грузовом автомобильном транспорте также находят применение модели эластичности, которые заключаются в следующем. Для анализа эластичности плана формирования структуры парка автотранспортных средств для ТЭП будем использовать показатели относительного изменения уровня обеспеченности автотранспортного предприятия  $a_{nr}$  автомобилями  $r$ -й марки и показатели относительного изменения объемов перевозок грузов  $a_{nb}$ , выполненных  $n$ -м парком автотранспортных средств, сформированным по  $b$ -му варианту плана:

$$a_{nr} = \frac{\Delta \mathcal{A}_{nr b}^{\text{пост}}}{\mathcal{A}_{nr b}^{\text{пост}}}; \quad a_{nb} = \frac{\Delta Q_{nb}}{Q_{nb}},$$

$$r = \overline{1, R}; \quad b = \overline{1, B}; \quad n = \overline{1, N},$$

где  $\Delta \mathcal{A}_{nr b}^{\text{пост}}$  — предельно возможное отклонение в поставках автомобилей  $r$ -й марки по  $b$ -му варианту плана формирования структуры парка в  $n$ -м АТП;  $\Delta Q_{nb}$  — предельно возможное отклонение объемов перевозок грузов по  $b$ -му варианту плана в  $n$ -м АТП.

Зависимость между уменьшением обеспеченности автомобилями  $r$ -й марки и потерями объем перевозок грузов по  $b$ -му варианту плана формирования структуры парка автомобилей будем рассматривать как характеристику эластичности плана и представим в следующем виде:

$$\epsilon(a_{nr}, a_{nb}) = 0, \quad r = \overline{1, R}; \quad b = \overline{1, B}; \quad n = \overline{1, N}.$$

Отношение  $a_{nr}$  к  $a_{nb}$  характеризует эластичность плана, отношение  $a_{nb}$  к  $a_{nr}$  — жесткость.

Степень избыточности автомобилей  $r$ -й марки на  $n$ -м АТП будем характеризовать отношением разности между списочным количеством автомобилей и количеством автомобилей, необходимых для формирования структуры парка по оптимальному варианту плана, к оптимальному количеству автомобилей. Это отношение назовем коэффициентом

резерва по автомобилям  $r$ -й марки для  $b$ -го варианта плана и запишем:

$$\mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}} = \frac{\mathcal{A}_{nr}^{\text{спис}} - \mathcal{A}_{nr}^{\text{опт}}}{\mathcal{A}_{nr}^{\text{опт}}}, \quad r = \overline{1, R}; \quad b = \overline{1, B}; \quad n = \overline{1, N},$$

где  $\mathcal{A}_{nr}^{\text{опт}}$  — количество автомобилей  $r$ -й марки в  $n$ -м АТП по оптимальному плану.

Избыточность всех  $R$  используемых марок автомобилей описывается вектором

$$\mathcal{A}_b^{\text{рез}} = \{\mathcal{A}_{1b}^{\text{рез}}, \dots, \mathcal{A}_{rb}^{\text{рез}}, \dots, \mathcal{A}_{Rb}^{\text{рез}}\}, \quad r = \overline{1, R}; \quad b = \overline{1, B}.$$

Пусть в ТЭП задан какой-либо способ резервирования

$$\mathcal{A}_b^{\text{рез}} = \{\mathcal{A}_{1b}^{\text{рез}}, \dots, \mathcal{A}_{(r-1)b}^{\text{рез}}, 0, \mathcal{A}_{(r+1)b}^{\text{рез}}, \dots, \mathcal{A}_{Rb}^{\text{рез}}\}, \\ r = \overline{1, R}; \quad b = \overline{1, B},$$

по всем маркам автомобилей, кроме  $r$ -й. Запись нуля на месте  $r$ -й компоненты означает, что поставки автомобилей  $r$ -й марки стали ниже тех, которые необходимы для оптимального варианта плана, т. е.

$$\mathcal{A}_{rb}^{\text{спис}} \leq \mathcal{A}_r^{\text{опт}}, \quad r = \overline{1, R}; \quad b = \overline{1, B}.$$

Абсолютный размер недопоставки автомобилей  $r$ -й марки по  $b$ -му варианту плана формирования структуры парка АТП характеризуется величиной  $\Delta \mathcal{A}_{rb}^{\text{пост}} = |\mathcal{A}_r^{\text{опт}} - \mathcal{A}_{rb}^{\text{спис}}|$ , а относительный —

$$a_r = \frac{|\mathcal{A}_r^{\text{опт}} - \mathcal{A}_{rb}^{\text{спис}}|}{\mathcal{A}_r^{\text{опт}}}; \quad r = \overline{1, R}; \quad b = \overline{1, B}.$$

В случае недопоставки автомобилей  $r$ -й марки по  $b$ -му варианту плана формирования парка автомобилей АТП абсолютная величина невыполненных объемов перевозок по ТЭП —  $\Delta Q_b = Q^{\text{опт}} - Q_b$ , а относительная —

$$a_b = \frac{Q^{\text{опт}} - Q_b}{Q^{\text{опт}}},$$

где  $Q^{\text{опт}}, Q_b$  — объем перевозок, соответствующий оптимальному и  $b$ -му вариантам плана.

При увеличении относительного размера недопоставки автотранспортных средств  $r$ -й марки относительное изменение объемов перевозок грузов по  $b$ -му варианту плана может быть описано зависимостью

$$a_b = y(a_r), \quad r = \overline{1, R}; \quad b = \overline{1, B}. \quad (3.1.7)$$

Рассмотрим несколько форм изменения характеристики эластичности в окрестности нуля. Если характеристика меняется полого (обозначим зависимость (3.1.7) через  $y_1$ ), то она может рассматриваться как благоприятная для качества

плана. В этом случае выполнение условия  $y_1(a_{1r}) \leq a_{1r}$  свидетельствует о том, что недопоставка АТП автомобилей  $r$ -й марки незначительно уменьшает объем перевозок по  $b$ -му варианту плана формирования структуры парка автотранспортных средств. Если характеристика меняется более круто (обозначим зависимость (3.1.7) через  $y_2$ ) и выполняется условие  $y_2(a_{1r}) > y_1(a_{1r})$ , то можно говорить о менее благоприятной характеристике качества плана.

Если характеристика меняется очень круто (обозначим зависимость (3.1.7) через  $y_3$ ), то она может рассматриваться как крайне неблагоприятная. В этом случае:

1) выполнение условия  $y_3(a_{1r}) \geq y(a_{1r})$  свидетельствует о том, что недопоставка автомобилей  $r$ -й марки даже в незначительном количестве приводит к существенному уменьшению объемов перевозок грузов по  $b$ -му варианту плана формирования структуры парка автотранспортных средств;

2) выполнение равенства  $y_1(0) = y_2(0) = y_3(0)$  означает, что при поставке АТП автомобилей  $r$ -й марки в количестве, соответствующем оптимальному варианту, объем перевозок грузов также будет оптимальным;

3) выполнение равенства  $y_1(1) = y_2(1) = y_3(0)$  означает, что при полной непоставке АТП автомобилей  $r$ -й марки запланированный объем перевозок грузов не будет выполнен.

Пусть в рассматриваемом периоде планирования ТЭП функционирует  $N$  действующих и планируемых к вводу в эксплуатацию АТП,  $\mathcal{A}_N^{\text{пан}}$  — множество полученных при решении задач рациональных вариантов формирования структуры парка автомобилей для перевозки грузов населения. Пусть по каждой  $r$ -й марке автомобилей устанавливается правая граница доверительного интервала его недопостав-

ки  $\mathcal{A}_r$ :

$$\Delta \mathcal{A}_r \leq \mathcal{A}_r; \quad \sum_{r=1}^R \Delta \mathcal{A}_r \leq \sum_{r=1}^R \overline{\mathcal{A}}_r.$$

Разобьем интервал  $[0, \mathcal{A}_r]$  на  $(l + 1)$  равномерные отрезки, выбирая множество  $l$  величин из  $0 < \mathcal{A}_{1rb} < \mathcal{A}_{2rb} < \dots < \mathcal{A}_{lrb} < \overline{\mathcal{A}}_{rb}$  вариантов плана формирования структуры парка автомобилей, их можно проранжировать таким образом, чтобы при недопоставке автомобилей  $r$ -й марки в количестве  $\mathcal{A}_{lrb}$  невыполнение объемов перевозок грузов по  $b$ -му варианту было минимальным:

$$\Delta \mathcal{A}_{lrb} = \mathcal{A}_{lrb} - \mathcal{A}_{(l-1)rb}, \quad l = \overline{1, l+1}; \quad r = \overline{1, R}; \quad b = \overline{1, B},$$

при условии, что  $\mathcal{A}_r^{\text{онт}}$  и  $\mathcal{A}_{(l+1)rb}$  равны  $\overline{\mathcal{A}}_r$ .

С использованием этой ранжировки из представленных

АТП планов и оптимального сводного плана формирования структуры парка автомобилей ( $\mathcal{B}_N^{\text{опт}}$ ,  $\mathcal{B}_N^{\text{зад}}$ ) можно выбрать такое подмножество ( $\mathcal{B}_N^{\text{опт}}$ ,  $\mathcal{B}_N^{\text{зад}}$ ), на котором недопоставке ТЭП автомобилей  $r$ -й марки в количестве  $\bar{x}_r$  соответствует минимально возможное недовыполнение объемов перевозок грузов по  $b$ -му варианту плана в объеме  $Q_b$ .

На подмножестве ( $\mathcal{B}_N^{\text{опт}}$ ,  $\mathcal{B}_N^{\text{зад}}$ ) в окрестности нуля, а точнее, в интервале  $[0, \bar{x}_r]$  формируется характеристика эластичности. АТП и варианты формирования их парка, относящиеся к подмножеству ( $\mathcal{B}_N^{\text{опт}}$ ,  $\mathcal{B}_N^{\text{зад}}$ ), могут рассматриваться как ядро эластичности оптимального плана, привязанное к характеристике  $rb$  эластичности.

При возникновении случайных недопоставок ТЭП автомобилей  $r$ -й марки в интервале  $[0, \bar{x}_r]$  именно АТП, планы которых вошли в подмножество ( $\mathcal{B}_N^{\text{опт}}$ ,  $\mathcal{B}_N^{\text{зад}}$ ), должны принять на себя объем перевозок того АТП, которое недополучило автомобили и в связи с этим не выполнит плановое задание.

Вследствие сказанного оптимальное перспективное планирование формирования структуры парка автотранспортных средств можно сформулировать как задачу, решаемую в несколько этапов.

**Первый этап.** Принятие ТЭП вариантов перспективного плана формирования структуры парка автомобилей каждого обслуживающего его АТП и предварительный выбор таких, которые будут включены в сводный план. Этот выбор происходит с учетом обеспеченности АТП автотранспортными средствами каждого из рассматриваемых типов. На данном этапе должны быть учтены мощность АТП, возможности расширения или реконструкции производственно-технической базы для размещения дополнительных автомобилей.

**Второй этап.** Проведение оптимизационных расчетов вариантов сводного плана по ТЭП. Определяется сочетание капиталовложений, эксплуатационных расходов и соответствующего им количества и марок автомобилей, которые, будучи распределенными во времени, осваивали бы заданное в регионе изменение объемов перевозок грузов при минимальных затратах на их выполнение. Выбор такого критерия полностью отвечает требованиям «Типовой методики определения эффективности капитальных вложений». Этот подход позволяет прежде всего провести серию расчетов, выявить влияние различных параметров (объемов и темпов роста заявок на перевозку грузов, номенклатуру и т. п.) на выбор вариантов развития ОПФ транспортной системы по обслуживанию населения, а также сделать заключение о



ом, при каком наборе исходных параметров экономически рационально отдать предпочтение той или иной структуре парка автомобилей.

**Третий этап.** Послеоптимизационный анализ сводного плана формирования структуры парка автомобилей. Динамическая оптимизационная модель дает возможность перебрать огромное число вариантов плана, а послеоптимизационный анализ вариантов на эластичность включает определение границ устойчивости плана при изменении основных экономических показателей.

Необходимость решения задачи в несколько этапов обусловлена сложностью проблемы и большой ее размерностью. Практика показывает, что формирование вариантов без послеоптимизационного анализа часто приводит к лишним затратам труда и времени расчета на ЭВМ.

Поставленную задачу следует решать с использованием прежде всего наиболее разработанных и подготовленных в практического использования математических методов оптимального планирования. Преобладающими для средне-долгосрочного планирования, связанного с решением сложных задач перебора большой размерности, в настоящее время являются методы динамического программирования. Использование их позволяет заменить полный перебор всех вариантов частичным, так как отбрасываются подмножества вариантов, которые заведомо не содержат оптимального решения, и перебор ведется среди оставшихся. Наибольшее распространение получил метод последовательного анализа вариантов. Он помогает выявить область возможных значений показателей плана и наиболее вероятную его реализацию.

### **3.2. КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОПУСТИМЫХ ВАРИАНТОВ ПЛАНА РАЗВИТИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ В РЕГИОНЕ**

Цель решения задач оптимального функционирования транспортной системы по обслуживанию населения в регионе заключается в получении множества планов, аппроксимирующих систему в пределах наиболее вероятных изменений ее показателей, а также в оценке работы автомобильного транспорта.

План функционирования ТСОН удовлетворяет ряду требований, среди которых наиболее существенными являются: сбалансированность по транспортным возможностям предприятий и объемам перевозок по заявкам населения;

оптимальность плана перевозок и получаемых доходов при их выполнении;

устойчивость плана по отношению к слабым воздействиям внешних и внутренних факторов;

адаптация к достаточно сильным воздействиям факторов.

Последнее требование предполагает реальную возможность перехода ТСОИ в состояние, оптимальное относительно складывающихся условий. При этом фактические условия развития и функционирования системы отличаются от плановой. Так, если при решении оптимизационной задачи развития и функционирования транспортной системы по обслуживанию населения в качестве функционала выбран минимум приведенных затрат, то при изменении предполагавшихся условий (например, недопоставка автотранспортных средств, изменение выделяемого количества капитальных вложений на развитие производственной базы, недопоставка соответствующих типов оборудования для оснащения зон технического обслуживания и ремонта автомобилей, изменение структуры транспортных услуг в регионе в результате проведения социальных программ) у системы появляются дополнительные критерии оптимизации, а именно: минимизация невыполнения плана по доходам, максимизация использования эксплуатационных качеств автотранспортных средств и др.

Адаптация транспортной системы по обслуживанию населения зависит от принятого планового решения и того, насколько глубоко проведен анализ фактических условий ее развития и функционирования, какие маневренные возможности были предусмотрены в плановом периоде.

Ниже рассматривается один из возможных подходов к оптимизации плана развития и функционирования транспортной системы по обслуживанию населения с учетом качественных характеристик.

Развитие и функционирование ТСОИ в некотором регионе характеризуется векторами входных и выходных параметров. Пусть вектор первых представлен в виде  $E = \{E_i\}$ , а вторых —  $F = \{F_j\}$ ,  $i = \overline{1, I}$ ;  $j = \overline{1, J}$ . Соответствие между входными и выходными параметрами устанавливается вектором  $X$ , который содержит совокупность параметров, определяющих места расположения АТП, их производственную базу, размер парка автотранспортных средств, вид оказываемых транспортных услуг, объем перевозок, план распределения автотранспортных средств по видам услуг и др.

В общей форме модель ТСОИ можно представить в следующем виде:

$$\{X, E, F, A, B, C, \emptyset\},$$

где  $X$  — искомый вектор-план развития и функционирования системы;  $E$  — вектор входных параметров, например количественного состава всех видов ресурсов, необходимых для осуществления заданного плана перевозок;  $F$  — вектор выходных параметров, например значения приведенных затрат, необходимых для осуществления выбранного плана развития и функционирования транспортной системы по обслуживанию населения, и потерь дохода в результате выполнения плана в полном объеме;  $A$  и  $B$  — операторы преобразования плана  $X$  в необходимые значения входных ( $AX$ ) и выходных ( $BX$ ) параметров в терминах кибернетических систем соответственно;  $C$  — оператор расчетов значений показателей эффективности, например затрат, связанных с эксплуатационными расходами, капитальными вложениями в развитие производственной базы АТП и приобретение автотранспортных средств, с амортизационными отчислениями;  $\mathcal{D}$  — область определения плана  $X$ .

Примем следующую формулировку допустимых плановых решений: необходимо определить минимальные затраты на развитие и функционирование основных производственных фондов АТП с целью обеспечения выполнения планового задания объемов перевозок, т. е. следует найти

$$\sum_{n=1}^N \sum_{b=1}^{\mathcal{B}} (C_{nb} + p_b \mathcal{D}_b) x_{nb} \rightarrow \min \quad (3.2.1)$$

при условиях

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{n=1}^N \sum_{b=1}^{\mathcal{B}} Q_{nb} x_{nb} \geq Q^{\text{пл}}; \\ & \sum_{n=1}^N \sum_{b=1}^{\mathcal{B}} \frac{Q_{nb} x_{nb}}{w_{nb}} \leq \sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R \mathcal{A}_{nr}^{\text{спис}}, \\ & \sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^R \sum_{b=1}^{\mathcal{B}} \Pi_r \Delta_r \mathcal{A}_{nr} x_{nb} \leq K^{\text{пл}}; \\ & \sum_{r=1}^R \sum_{b=1}^{\mathcal{B}} \mathcal{A}_{nr}^{\text{спис}} k_{nb}^M x_{nb} \leq M_n, \quad n = \overline{1, N}; \\ & \sum_{n=1}^N \sum_{b=1}^{\mathcal{B}} \mathcal{A}_{nr}^{\text{спис}} k_{nb}^H x_{nb} \leq TP, \quad r = \overline{1, R}, \end{aligned} \right\} \quad (3.2.2)$$

$$k_{nb} = \begin{cases} 1, & \text{если выбран } b\text{-й вариант функционирования } n\text{-го АТП;} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

при следующих обозначениях\*:  $b = \overline{1, \mathcal{B}}$  — варианты функционирования ТСОН;  $C_{nb} = E_n(K_{nb} + \mathcal{E}_{nb})$  — приведенные затраты по  $b$ -му варианту функционирования  $n$ -го АТП;  $\mathcal{D}_b$  — доход, получаемый системой при  $b$ -м варианте развития;  $p_b$  — вероятность невыполнения плана по доходам при  $b$ -м варианте развития ТСОН;  $\mathcal{A}_{nr}^{\text{спис}}$  — списочное количество автомобилей  $r$ -й марки на  $n$ -м АТП при  $b$ -м варианте функционирования;  $k_{nb}^M$  — коэффициент интенсивного использования производственно-технической базы  $n$ -го АТП при  $b$ -м варианте функционирования;  $k_{nb}^H$  — норма выработки на одного работающего на  $n$ -м АТП при  $b$ -м варианте функционирования;  $TR$  — лимит трудовых ресурсов в регионе;  $x_{nb}$  — интенсивность использования  $b$ -го варианта функционирования  $n$ -го АТП.

Входным является вектор выделяемых транспортной системе ресурсов  $E = \{k_{nb}^M, k_{nb}^H, a_{nr}\}$ , где  $a_{nr} \in \mathcal{A}_{nr}$ ;  $k_{nb}^M \in K^{\text{пл}}$ ;  $k_{nb}^H \in TR$ , выходным — условно оптимальное значение функционала

$$F = \{C_{nb}, p_b, \mathcal{D}_b\}. \quad (3.2.3)$$

Отклонение фактических условий развития и функционирования транспортной системы по обслуживанию населения в регионе от плановых называется возмущением. Действующие на систему возмущения могут быть записаны как  $\Delta E = E^{\text{пл}} - E^{\text{факт}}$ , где  $E^{\text{пл}}$  — планируемые показатели: освоение капитальных вложений; количество трудовых ресурсов, объем поставок и списания автотранспортных средств;  $E^{\text{факт}}$  — фактические значения перечисленных выше показателей.

Возмущение  $\Delta E$  вызывает несоответствие между  $F^{\text{пл}}$  и  $F^{\text{факт}}$ , т. е.  $\Delta F = F^{\text{пл}} - F^{\text{факт}}$ . Значение вектора  $\Delta F$  зависит от возможностей корректировки в ходе реализации принятого планового решения  $X = \{x_{nb}\}$  и его маневренных возможностей, т. е.  $\Delta F$  представляет собой разницу в стоимостном выражении между оптимальным и неоптимальным плановыми решениями.

Обозначим через вектор  $\mathcal{M}$  маневренные возможности ТСОН, которые выражаются через допустимые способы корректировки решения  $X$ . Мера маневренности  $\mathcal{M}$  принимаемого плана определяется следующим образом:

$$\mathcal{M} = \{\Delta \mathcal{A}_{nr}^{\text{пес}}, \Delta \overline{\mathcal{A}}_{nr}, \Delta^*_{nr}\},$$

где  $\Delta \mathcal{A}_{nr}^{\text{пес}}$ ,  $\Delta \overline{\mathcal{A}}_{nr}$  — векторы предельных маневренностей соответственно в сторону увеличения или уменьшения количества автотранспортных средств  $r$ -й марки  $n$ -м АТП согласно

\* Остальные обозначения — см, пп. 2.3 и 3.1.

$b$ -му варианту решения;  $\Delta_{arb}^*$  — вектор допустимых расстояний переходов от избыточного количества автотранспортных средств  $r$ -й марки к недостаточному на  $n$ -м АТП  $b$ -го варианта решения.

Мера маневренности не стабильна, а изменяется в процессе варьирования количественных характеристик системы, способов их функционирования, принимаемых плановых решений [58]. Это значит, что изменение структуры парка и количества автотранспортных средств влечет за собой изменение меры маневренности. Тогда связь между рассматриваемыми параметрами  $E, \Delta E, F, \Delta F, X, \mathcal{M}$  может быть функционально выражена следующим образом:

$$\Phi(E, \Delta E, F, \Delta F, X, \mathcal{M}). \quad (3.2.4)$$

Данная зависимость является «платежной» функцией, так как в результате оптимизационных расчетов определяется вектор  $X$  оптимального соответствия входного вектора  $E$  выходному  $F$ . При отклонении векторов  $E^{\text{факт}}$  и  $E^{\text{пл}}$  на величину  $\Delta E$  система на выходе «платит» величиной  $\Delta F$  за адаптацию системы.

Основой выбора плана есть определение зависимости (3.2.4) по наиболее напряженным связям между входными и выходными параметрами ТСОИ, особенно по связи имеющихся ресурсов (автотранспортных средств, трудовых ресурсов) с объемом перевозимых грузов. Для определения такой связи и ее характеристики необходимо построение функции эластичности планового решения. Оно заключается в следующем. Для выбранного решения  $X$ , принимаемого за плановое, устанавливаются маневренные возможности, которые характеризуются вектором  $\mathcal{M}$ . Функцию эластичности в общем виде можно записать следующим образом:

$$\frac{\Delta F}{F} = f\left(\frac{\Delta E}{E}, \mathcal{M}\right). \quad (3.2.5)$$

Для данной функции может быть рассчитан коэффициент эластичности

$$e_{\alpha\beta} = \frac{\Delta E_{\alpha}}{E} \Big/ \frac{\Delta F_{\beta}}{F}, \quad (3.2.6)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — состояния векторов  $E$  и  $F$ .

Коэффициент эластичности  $e_{\alpha\beta}$  характеризует степень достижения конечной цели планового решения  $\beta$ , заключающегося в выполнении заданных объемов перевозок с наименьшими затратами в зависимости от изменения одного из параметров  $\alpha$ , а именно: капитальных вложений, наличия

автотранспортных средств, трудовых ресурсов и т. п. В данном случае  $\alpha=3$ .

Предположим, что должно быть перевезено  $S$  видов грузов объемом  $Q_s$  и для этого необходимо  $R$  типов автотранспортных средств в количестве  $\sum_{r=1}^R \mathcal{A}_r$ . Недоразвитие про-

изводственной базы АТП влечет за собой либо недостаточное количество автотранспортных средств, либо недостаточное использование имеющегося в наличии парка автомобилей, что приводит к невыполнению заданных объемов перевозок. Коэффициент эластичности характеризует степень достижения конечных целей плана при изменении условий их реализации, т. е. показывает увеличение расходов на выполнение объема перевозок при недостаточном количественном составе всех видов ресурсов  $\alpha$ . Чем выше значение коэффициента эластичности, тем благоприятнее принятый план.

С помощью коэффициента эластичности определяются дополнительные затраты, необходимые для функционирования системы с улучшенными характеристиками. Большое значение имеет определение зависимости между относительными величинами  $\frac{\Delta E}{E}$  и  $\frac{\Delta F}{F}$ . Статистический анализ влияния одной величины на другую позволяет определить, что зависимость, как правило, нелинейна и поэтому может быть записана в виде функции предельной эффективности

$$\Delta F = f(\Delta E, \mathcal{M}),$$

где  $\mathcal{M}$  — вектор управляющих параметров, или, иначе, маневренных характеристик.

Пусть для каждого АТП определен резерв по использованию того или иного автотранспортного средства  $\mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}}$ . В случае, если для  $n$ -го автотранспортного предприятия  $\Delta E_{nr} = \mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}}$ , функция предельной эффективности работы этого предприятия  $\Delta F_n = 0$ . Если же  $\Delta E_{nr} > \mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}}$ , то согласно (3.1.4)

$$\Delta E_n = \sum_{r=1}^R (\Delta E_{nr} - \mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}}) (e_{nr})^{-1}, \quad (3.2.7)$$

а для всей транспортной системы она будет иметь вид

$$\Delta F = \sum_{r=1}^R (\Delta E_{nr} - \mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}}) \prod_{n=1}^N (e_{nr})^{-1}.$$

В выражении (3.2.7) величина  $\mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}}$  представляет собой маневренный резерв, позволяющий  $n$ -му автопредприятию

гасить возмущение по  $r$ -му типу автотранспортных средств  $\Delta E_{nr} = \mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}}$ . Полный резерв автотранспортных средств для каждого автопредприятия

$$\mathcal{A}_n^{\text{рез}} = \sum_{r=1}^R \mathcal{A}_{nr}^{\text{рез}} e_{nr}, \quad n = \overline{1, N}. \quad (3.2.8)$$

Аналогично можно рассчитать резервы по каждому из рассматриваемых экономических показателей.

Если в ходе реализации плана развития структуры парка автотранспортных средств  $X = \{x_{nb}\}$  возможны отклонения в получении новых видов автомобилей или дополнительного их количества, которые задаются вектором  $\Delta E^g$ , то требования нормы эластичности предполагают, чтобы система в принятом варианте решения могла перейти от плана  $x_{nb}$  к плану  $x_{nb}^g$ , допустимому относительно условий нормативной эластичности. Тогда в модели (3.2.1), (3.2.2) правые части условий необходимо заменить элементами множества

$$E^g = \{\mathcal{A}_{nr}^{\text{спис}} - \Delta \mathcal{A}_{nr}^g; K^{nl} - \Delta K^g; \mathcal{M}_n - \Delta \mathcal{M}_n^g; TP - \Delta TP^g\}. \quad (3.2.9)$$

В реальных условиях переход от одного варианта плана к другому ограничен маневренными возможностями ТСОИ. Для планирования в условиях неопределенности эти возможности должны быть отражены в механизме формирования оптимального плана. В модели (3.2.1), (3.2.2) это означает, что для принятого плана  $x_{nb}$  учитываются корректировки  $x_{nb}^g$  ( $g = \overline{1, G}$ ) и (3.2.9), т. е. условия маневренности. При этом

$$\mathcal{M}(x_{nb}, x_{nb}^g) = 0, \quad g = \overline{0, G}.$$

Для маневренной системы определяются вероятности  $p^g$  ( $\sum_{g=0}^G p^g = 1$ ) недополучения ресурсов  $\Delta E^g$ . Таким образом, можно с большей или меньшей вероятностью определить план функционирования ТСОИ  $x_{nb}^g$ .

Алгоритм определения плана развития и функционирования системы автомобильного транспорта в регионе и его адаптация к конкретным условиям состоят из нескольких этапов:

1) определение интервала изменения входных параметров определения оптимальных планов развития и функционирования системы;

2) проверка по каждому ресурсу системы маневренных возможностей, определение вектора  $\mathcal{M} = \{\mathcal{M}_{nr}\}$ ;

3) определение возмущающих воздействий на систему по каждому ресурсу  $E_{\alpha} = \{E_{nr}\}$ ;

4) установление зависимости (3.2.4) между входными и выходными параметрами транспортной системы по обслуживанию населения;

5) построение функции эластичности и определение коэффициентов эластичности по каждому виду связи между входными и выходными параметрами в соответствии с (3.2.5) и (3.2.6);

6) определение с помощью коэффициента эластичности полного резерва (3.2.8) по рассматриваемому ресурсу и дополнительных затрат на поддержание резерва, т. е. построение функции  $F$  (3.2.3);

7) нахождение оптимального плана развития и функционирования транспортной системы в результате решения задачи (3.2.1), (3.2.2), (3.2.9) выбора соответствующих характеристик плана  $X$  (с учетом маневренности и эластичности).

На основании сказанного можно сделать вывод, что вероятностно-неопределенные предпосылки планирования обуславливают неоднозначность выбора оптимального планового решения по дальнейшему развитию ТСОИ. Предлагаемый подход дает возможность получить качественные характеристики каждого из допустимых вариантов плана с целью дальнейшего анализа принятого решения.

### 3.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЛАНА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В последние годы интерес к анализу и учету вероятностных факторов в моделях планирования постоянно растет и всячески подчеркивается роль анализа как связующего звена между разработкой плана и его фактической реализацией. И именно с этих позиций вначале формируется план, в рамках которого целесообразно анализировать и принимать решения [59].

В современных подходах к разработке и применению методов формирования и реализации планов наблюдаются новые тенденции, заключающиеся в сочетании методов качественного анализа с математическим моделированием при обосновании решений конкретных проблем развития экономических систем. Представляется возможным выделить два основных подхода. Первый заключается в комбинировании модели реализации плана и оптимизационной модели планирования. В работах [59—61] приводятся примеры комп-



ексной модели, представляющей собой соединение модели асчета плана и модели его реализации. Комплексная модель формализует ограничения структурного и организационного характера, в которых учитывается квалификация людей, принимающих решения, и т. п.

Пусть имеется модель  $\mathcal{M}$  реализации плана  $\mathcal{P}$  развития некоторой экономической системы. На множестве траекторий вида  $\mathcal{M}(\mathcal{P})$  функционирования системы задан глобальный критерий оптимальности  $\mathcal{F}$ . Тогда задача планирования заключается в нахождении плана  $X$ , доставляющего максимум критерию  $\mathcal{F}(\mathcal{M}(X))$ . Поиску наилучшего в этом смысле варианта плана сопутствуют значительные математические трудности, поскольку функция  $\mathcal{F}(\mathcal{M}(X))$  задана алгоритмически и программно реализуема. Поставив машинный имитационный эксперимент, можно оценить качество конкретных вариантов плана, сравнить их друг с другом. Но при этом необходимо сформулировать признак оптимальности плана, который можно было бы легко проверить и который требовал бы полного перебора вариантов, а также определить эффективную процедуру нахождения оптимума указанной функции.

Второй подход заключается в возможно более разносторонней оценке вариантов допустимых планов по совокупности адаптивных характеристик [62, 63]. Опыт решения проблем развития и функционирования экономических систем указывает, что использование только прямых результатов оптимизации не в полной мере удовлетворяет требованиям специалистов-практиков. Это и приводит к необходимости после получения вариантов допустимых планов осуществить послеоптимизационный анализ, проводимый за логическим анализом величин и соотношений основных плановых показателей и проверкой выполнения условий его реализации.

Показатели, от которых зависит функционирование рассматриваемой системы, целесообразно разбить на следующие группы:

- 1) планы развития автопредприятий региона; план развития транспортной сети региона; планы объемов перевозок в рассматриваемых автопредприятиях и в целом по региону; план распределения подвижного состава по маршрутам; финансовый план и т. п.;

- 2) технико-эксплуатационные показатели, характеризующие работу автопредприятия: коэффициент технической готовности подвижного состава; коэффициент выпуска подвижного состава на линию; коэффициент использования местимости (грузоподъемности); эксплуатационная скорость и т. п.; количественный и структурный составы всех

видов ресурсов труда, автотранспортных средств, оборудования, которыми располагает АТП; производственные мощности АТП; стоимость основных производственных фондов, приходящихся на одного работающего, и др.;

3) количество и места расположения АТП, трансагентства по обслуживанию населения и др.

Анализ указанных групп показателей дает возможность проверить разные варианты планов на их реализуемость при неизменных показателях групп 2 и 3. При неизменных показателях групп 1 и 3 можно подобрать такие, которые реализуют фиксированный план; для групп 1 и 2 можно выбрать направления развития действующих автотранспортных предприятий. При неизменном плане для каждого варианта существует множество потенциально допустимых пар из показателей групп 2 и 3.

План может быть реально невыполним, поскольку при его реализации обнаруживаются неучтенные факторы (изменения в технологии перевозок, поставках подвижного состава и оборудования для оснащения производственно-технической базы АТП, срыв сроков ввода мощностей и т. п.).

Отклонения фактических условий функционирования ТСОН от предусмотренных планом принято называть возмущениями. Для устранения их в процессе реализации плана необходимы особый подбор оптимизируемых вариантов развития и функционирования ТСОН в регионе и специальные методы анализа получаемых решений с тем, чтобы отобранные варианты были эффективны и работоспособны в разных ситуациях.

В процессе реализации из вариантов развития системы, оптимальных при разных возможных условиях, формируется новый план — комбинированный. В его состав наряду с общими для всех оптимальных вариантов показателями и способами функционирования входят, казалось бы, взаимосключающие параметры и методы, которые при необходимости могут быть достаточно быстро развернуты до необходимых масштабов. В связи с этим возникает проблема обеспечения стабильности и устойчивости показателей развития и функционирования экономической системы при различного рода возмущениях в условиях реализации плана, а также определения надежности выполнения планового задания при отклонениях некоторых факторов от заданных.

Понятие надежности было введено для технических систем и является качественным показателем их функционирования. Надежность технической системы является вероятностью того, что система в целом или ее элементы выполняют свои функции в течение определенного интервала вре-

дени в соответствии с предъявляемыми требованиями [64, 65]. Изучение закономерностей возникновения отказов технических систем составляет основу теории надежности, методов анализа систем, методов повышения надежности элементов и системы в целом.

При количественном определении надежности технических систем обычно оперируют понятием вероятности безотказной работы элементов, интенсивности их отказов (полной или частичной утраты свойств, позволяющих выполнить свои функции) и средней частоты отказов.

Данные качественные характеристики позволяют оценить надежность элементов и системы в процессе функционирования. Для установления соотношения между временными составляющими определяются коэффициенты надежности, в качестве которых для технических систем выступают такие: готовности, вынужденного простоя, отказов и расхода элементов, стоимости эксплуатации и др.

Методом повышения надежности технических систем является резервирование, позволяющее включать резервный элемент в работу либо путем замещения вышедшего элемента из строя, либо путем включения его наравне с функционирующим.

В отличие от надежности технических систем надежность экономической системы характеризуется технико-экономическими показателями функционирования элементов системы, поведение которых носит случайный характер на протяжении всего периода функционирования, но характерной чертой которых является обязательное выполнение определенных функций. Одной из основных функций экономической системы есть выполнение плановых заданий ею и каждым элементом в частности.

Целесообразность введения понятия надежности экономической системы связана с неопределенностью условий реализации планового задания. Особое значение это приобретает на стадии перспективного и текущего планирования, когда необходимо проанализировать поведение всех элементов системы в рассматриваемый период, чтобы обеспечить выполнение плана. Поэтому под надежностью экономической системы подразумеваются надежность выполнения плановых заданий, изыскание внутренних резервов для получения наибольшей вероятности выполнения плана при наименьших народнохозяйственных затратах.

В качестве количественных характеристик надежности экономической системы выступает совокупность технико-экономических показателей, характеризующих состояние ТСОИ в рассматриваемый период и влияющих на ее эффек-

тивность. В математическую модель функционирования системы вводятся неопределенные параметры, характеризующие эффективность и надежность системы.

ТСОН является одним из необходимых звеньев народного хозяйства, и ее можно рассматривать как технической, так и экономической. В нашем случае она рассматривается как региональная экономическая система, для которой с целью установления соответствия текущих технико-экономических характеристик и плановых необходимо определить показатели контроля. На основе накопленных данных за предшествующие периоды можно определить отклонения от плановых заданий, а также возможности маневрирования имеющимися ресурсами при обязательном выполнении плана. Маневрирование будем рассматривать как реакцию ТСОН на изменение условий реализации плана перевозок с учетом развития АТП и формирования состава парка автотранспортных средств.

В регионе известно количество АТП определенной мощности, обслуживающих транспортно-экспедиционное предприятие. Пусть задан планируемый период  $[1, T]$ . В каждом из подпериодов известен объем перевозок  $Q$  по каждому АТП и региону в целом.

В начале планируемого периода ( $t = 1$ ) имеется некоторый парк автомобилей  $A_1$  с заданными технико-экономическими характеристиками. Известны: способы  $\mathcal{M}$  использования транспортных средств при обслуживании населения в регионе;  $M_{nt}$ —состояние производственно-технической базы АТП; годовые эксплуатационные расходы  $\mathcal{E}_n$ , связанные с перевозками; капитальные вложения  $K_n$ , связанные с развитием АТП и приобретением подвижного состава. При заданных ограничениях по всем видам ресурсов необходимо пополнить парк автомобилей и реконструировать производственно-техническую базу АТП так, чтобы выполнить план по перевозкам с минимальными приведенными затратами.

Итак, в результате программной реализации предложенной экономико-математической постановки задачи (2.3.6) — (2.3.10) может быть получен оптимальный план развития АТП и формирования парка автомобилей в целом по региону для рассматриваемого планового периода  $[1, T]$ . Надежность ТСОН проявляется в том, что она решает поставленные перед ней задачи в области планирования. Потеря надежности может рассматриваться как их невыполнение.

По влиянию отказов на выполнение заданий системы подразделяются на простые и сложные. Простая при отказе элементов либо полностью прекращает выполнение своих функций, либо продолжает их выполнять в полном объеме.

ли отказавший элемент резервирован. Сложные системы в результате избыточности отдельных элементов обладают способностью при отказе некоторых из них продолжать решение поставленных задач при снижении определенных технико-экономических показателей эффективности. Поэтому отказ сложной системы, каковой является ТСОИ, можно определить как снижение технико-экономических показателей по сравнению с плановыми и связанное с ним невыполнение плановых заданий по объемам перевозок и соответственно снижение величины доходов, получаемых ТЭП при реализации транспортных услуг.

Под понятием надежности транспортной системы по обслуживанию населения, обеспечивающей грузовые перевозки, подразумеваются качественное выполнение объемов перевозок по заявкам населения при наименьших затратах материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Тогда надежность системы можно сформулировать математически, опираясь на исследования работы [66]. Отказом ТСОИ является невыполнение заявок на перевозку. В момент  $t$  темп выполнения заявок населения на перевозки равен  $f(z)$ , где  $z = \varepsilon(t)$ , а  $\varepsilon(t)$  — случайная величина, описывающая функционирование системы в момент  $t$ .

Тогда, если  $Q_T$  — объем перевозок за плановый период  $T$ , то  $Q_T = \int_0^T f(\varepsilon(t)) Q_1 dt$ , а надежность системы  $\Omega_1(t) = \Omega(Q(T)) \geq Q_1$ , где  $Q_1$  — плановый объем перевозок грузов по заявкам населения.

Для учета фактора надежности функционирования ТСОИ необходимо дать формальное выражение показателя надежности плана. В качестве исходной характеристики для построения количественной меры надежности плана служит вероятность выполнения того или иного планового показателя.

Работу автомобильного транспорта общего пользования характеризуют:

- 1) степень использования подвижного состава;
- 2) эффективность и качество применения автотранспортных средств.

Первая группа качественных показателей может быть выражена количественно следующими характеристиками: среднесписочным количеством автомобилей; календарными днями в периоде; коэффициентом выпуска парка на линию; номинальной грузоподъемностью транспортного средства; временем пребывания подвижного состава в наряде.

Для второй группы характерны:

- среднее расстояние перевозки грузов;
- коэффициент использования пробега;
- средняя техническая скорость транспортного средства;
- соответственно динамический и статический коэффициенты использования грузоподъемности;
- время простоя транспортного средства под погрузкой и разгрузкой.

Первая группа качественных показателей дает представление об объемах транспортных ресурсов, показатели второй — об эффективности их использования. Объединяя эти показатели, можно говорить о выполнении заявок на перевозку грузов населения [67].

Поскольку плановые задания на перевозку грузов по заявкам населения устанавливаются на начало планового периода в соответствии с выполнением таковых в предшествующие периоды, то в условиях неполной информации о среде функционирования невозможно предсказать заранее, насколько полным будет выполнение планового задания. Необходима количественная оценка надежности его выполнения.

Рассмотрим факторы, влияющие на производительность автотранспортного средства и выполнения планового задания по объемам перевозок при выполнении заявок населения.

В настоящее время АТП специализируются на перевозке определенных видов грузов, что формирует их структуру и грузопотоки в рассматриваемом регионе. Таким образом, определяется среднесписочное количество транспортных средств. Грузы, перевозимые по заявкам населения, в общем объеме перевозок занимают небольшую долю для каждого АТП.

Вид и объем перевозимых грузов устанавливают специализацию и грузоподъемность транспортных средств. Коэффициент выпуска на линию транспортных средств зависит от условий их эксплуатации, состояния производственно-технической базы АТП, способов технического обслуживания и ремонта подвижного состава. Динамические характеристики состава, его техническое состояние, характер перевозимого груза и степень использования грузоподъемности автомобиля определяет его среднюю техническую скорость. От типа подвижного состава, состояния перегрузочных механизмов, фронта погрузочно-разгрузочных работ и вида грузов зависит среднее время простоя под погрузкой и разгрузкой.

Приведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что количественные показатели, определяющие надежность

полнения плановых заданий по перевозкам грузов и доходам, являются производными.

Рассматривая состояние выполнения плана перевозок грузов и доходов за определенный период времени, можно сделать вывод, что для оценки этого состояния необходим комплексный показатель качества выполнения плана, который синтезирует организационно-технические, технико-эксплуатационные и социально-экономические показатели функционирования транспорта в регионе по обслуживанию населения.

Организационно-технические показатели уровня транспортного обслуживания населения отражают качественные показатели улучшения перевозок грузов, повышение производительности транспортных средств, создают возможности маневрирования автотранспортными средствами при перевозке грузов.

В результате организационно-технических мероприятий расширяются сроки выполнения заявок, повышается экономическая эффективность перевозок, увеличивается количество выполненных заявок и т. д. Обобщенный организационно-технический показатель можно представить так:

$$K_1 = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \frac{Q_i^{\text{факт}}}{Q_i} \frac{k_{\text{трг}}}{k_{\text{трг}}^{\text{факт}}},$$

$I$  — количество используемых организационно-технических показателей ( $i = \overline{1, I}$ );  $Q_i^{\text{факт}}$  — фактически выполненный объем перевозок,  $Q_i$  — объем перевозок, выполненный в результате повышения уровня  $i$ -го организационно-технического мероприятия;  $k_{\text{трг}}^{\text{факт}}$  ( $k_{\text{трг}}$ ) — фактический (планируемый) коэффициент трудоемкости транспортной работы [68]:

$$k_{\text{трг}} = \varphi(t_n, l_{\text{ср}}, t_{\text{п-р}}).$$

где  $t_n$  — норма времени на выполнение перевозки 1 ткм;  $l_{\text{ср}}$  — среднее расстояние пробега;  $t_{\text{п-р}}$  — норма времени прогона автотранспортного средства на выполнение погрузочно-разгрузочных работ.

Относительные технико-эксплуатационные показатели характеризуют степень изменения параметров использования автотранспортных средств в процессе эксплуатации с целью повышения их производительности. Тогда относительный технико-эксплуатационный показатель определяется отношением величины показателя  $q^{\text{ф}}$  к его предельному значению  $q^{\text{пл}}$ . В качестве показателей выступают коэффициенты использования пробега, использования парка, технической готовности, фактическая техническая скорость,

время пребывания автотранспортного средства в наряде. Они отражают повышение объемов перевозок в результате увеличения производительности автомобиля и эффективного его использования.

Обобщенный технико-эксплуатационный показатель может быть представлен в следующем виде:

$$\mathcal{K}_2 = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{q_j^\Phi P_j^{\text{пл}}}{q_j^{\text{пл}} P_j^\Phi},$$

где  $J$  — количество рассматриваемых технико-эксплуатационных показателей;  $P_j^\Phi (P_j^{\text{пл}})$  — соответственно фактическая и планируемая транспортная работа при изменении  $j$ -го показателя.

Социально-экономические показатели отражают эффект, полученный всеми участниками транспортного процесса (население, ТЭП и АТП) с учетом суммарного ущерба, наносимого в результате невыполнения плана по доходам ТСОИ:

$$\mathcal{K}_3 = \sum_{s=1}^S p_s \mathcal{D}_s,$$

где  $p_s$  — вероятность выполнения плана по доходам при выполнении  $s$ -й транспортной услуги;  $\mathcal{D}_s$  — плановый доход, который должна получить ТСОИ при выполнении  $s$ -й транспортной услуги.

Комплексный показатель качества перевозок грузов представляет собой величину  $\mathcal{K} = \mathcal{K}_1 + \mathcal{K}_2 + \mathcal{K}_3$ . Пусть определено максимальное значение коэффициента качества выполнения плана  $\mathcal{K}$ , при котором будет выполнен максимальный объем перевозок грузов  $Q^0(\mathcal{K})$ . В результате возможных возмущений происходит невыполнение плана перевозок  $Q(\mathcal{K})$ . По аналогии с техническими системами [69] одним из основных показателей надежности плана может быть коэффициент готовности  $P(\mathcal{K})$ , равный вероятности выполнения плана при условии соблюдения заданного коэффициента качества:

$$P(\mathcal{K}) = p(Q(\mathcal{K}) \geq Q^0(\mathcal{K})).$$

Ввиду того что  $Q(\mathcal{K}) < Q^0(\mathcal{K})$  свидетельствует не о полном отказе системы, а лишь о частичном невыполнении плана, надежность ТСОИ целесообразно представить как математическое ожидание  $\mu(\Delta Q(\mathcal{K}))$  возможности невыполнения плана:

$$\mathcal{K}(\mathcal{K}) = 1 - \mu\left(\frac{\Delta Q(\mathcal{K})}{Q(\mathcal{K})}\right),$$



$$\Delta Q(X) = \begin{cases} Q^0(X) - Q(X), & Q(X) < Q^0(X); \\ 0 & Q(X) \geq Q^0(X). \end{cases}$$

План функционирования транспортной системы по обслуживанию населения описывается некоторой группой показателей: объемом перевозок грузов по заявкам населения; необходимым количеством автотранспортных средств; объемом материальных и финансовых затрат, необходимых для осуществления транспортного процесса; размером ущерба планового дохода от невыполнения планового задания.

Определим векторы входных  $E$  и выходных  $F$  показателей функционирования. Вектор входных параметров для каждого АТП определяется: среднесписочным количеством автомобилей; номинальной грузоподъемностью; средней технической скоростью; количеством календарных дней в году; объемом и номенклатурой перевозок; лимитом капитальных вложений, выделяемых предприятию на планируемый период, вектор выходных параметров — средним расходом перевозок грузов; коэффициентом использования пробега; коэффициентом выпуска машин на линию; коэффициентом использования грузоподъемности; временем пребывания в наряде; временем простоя под погрузочно-разгрузочными операциями и др. На начало планового периода даются плановые величины  $E^{пл}$  и  $F^{пл}$ . Действующие на момент возмущения характеризуются вектором  $\Delta E = E^{пл} - E^ф$ , что вызывает несоответствие  $\Delta F = F^{пл} - F^ф$ , где  $E^ф$  и  $F^ф$  — фактические значения входных и выходных параметров. Вектор выходных параметров существенно зависит от возможности корректировки решения оптимизационной задачи (2.1), (3.2.2.), (3.2.9) в ходе реализации и от маневренных возможностей плана. Если маневренные возможности транспортной системы по обслуживанию населения выразить достижимыми способами  $X$  корректировки планового решения  $X$ , то между входными и выходными параметрами, их возмущениями, плановым решением и его маневренными возможностями всегда существует связь, которая может быть записана в виде выражения (3.2.4). Очевидно, что плановая функция должна быть минимальной и по возможности сведена к нулю.

В связи с этим необходима экономическая оценка мероприятий, повышающих надежность выбранного варианта плана. Повышение надежности осуществляется через экономическое маневрирование — совокупность целенаправленных мероприятий в рассматриваемой системе, опреде-

ляемых изменениями внешних и внутренних условий реализации планов и обеспечивающих режим оптимального функционирования ТСОИ. Количественно это проявляется в том, что могут быть изменены: состав элементов, входящих в систему (значительно обновлен парк автотранспортных средств); их характеристики (производительность автомобилей, их грузоподъемность); характеристика оказываемых транспортных услуг и технология их выполнения. Маневрирование, которое вызывается этими изменениями, не требует перерасчета оптимизационной задачи, изменения основных направлений научно-технического прогресса, изменения функций ТСОИ и ее элементов. Маневрирование должно осуществляться способами функционирования объектов, входящих в транспортную систему, за счет изменения параметров функционирования.

Каждому способу функционирования системы соответствует надежность выполнения плановых заданий, которая характеризуется определенным параметром. Обозначим его через  $i$  ( $i=1, J$ ).

Векторы входных и выходных параметров, соответствующие состоянию системы, обозначаются  $E^i$  и  $F^i$ . Каждое состояние системы характеризуется набором технико-экономических параметров и их вариациями, поэтому общее число состояний может быть велико. Целесообразно провести группировку всех состояний по признаку близости значений параметров функционирования системы. Тогда количество состояний будет  $J' < J$  ( $i' = \overline{1, J'}$ ). Каждому состоянию  $i'$  системы будет соответствовать некоторый условно-оптимальный план, который определяется в результате решения оптимизационной задачи (3.2.1), (3.2.2), (3.2.9) с учетом ограничения на параметры функционирования, например производительность автотранспортных средств, использование материальных и финансовых ресурсов для поддержания автотранспортных средств в рабочем состоянии и т. д. Каждому состоянию системы соответствует своя платежная функция

$$\Phi(E^{i'}, \Delta E^{i'}, F^{i'}, \Delta F^{i'}, X^{i'}, M^{i'}) = 0, \quad i' = \overline{0, J'}$$

Нулевое значение  $i'_0$  присваивается оптимальному плану. Состояние  $i'_1$  является менее предпочтительным, чем  $i'_0$ , в нулевое состояние можно перейти из первого путем маневрирования определенными параметрами функционирования системы, т. е. можно построить несколько цепочек состояний, где переход от одного к другому осуществляется путем из

нения входных и соответственно выходных параметров,

$$(E^v, F^v) \leq (E^{v-1}, F^{v-1}) \leq \dots \leq (E^i, F^i) \leq \dots \\ \dots \leq (E^1, F^1) \leq (E^0, F^0).$$

Корректировка одного из компонентов параметра  $E$  приводит к новому состоянию системы, таким образом, может быть построена новая цепочка состояний. Для каждого состояния решается оптимизационная задача, постановка которой приведена выше начиная с наихудшего ( $i'$ ) варианта. На каждом последующем этапе вводится дополнительное ограничение на маневренность. В результате будет получен план, удовлетворяющий всем техническим и экономическим требованиям функционирования исследуемой системы.

## ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

### 4.1. ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА КАК ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЪЕКТ

Транспортная система обладает достаточной степенью информативности. Прежде всего, это объясняется тем, что транспортный процесс отличается высокой динамичностью, что отражается на информационных показателях, характеризующих систему.

Особое значение при исследовании проблем развития и функционирования транспортной системы имеет информация. Нет необходимости доказывать, что как по существу, так и по форме решение проблемы развития транспортной системы есть процесс переработки информации, характеризующий состояние системы, и принятия на основе этой информации решений о дальнейшем ее развитии. Поэтому транспортную систему можно рассматривать как информационный объект.

Транспортная система в информационном аспекте имеет на входе потоки плановой, нормативно-справочной и отчетной информации, а на выходе — информацию о вариантах развития системы по утверждаемым и расчетным показателям.

Преобладающий объем исходной информации для осуществления вариантов расчетов траекторий развития, составляющих основу информационного обеспечения, приходится на нормативные и отчетные данные, которые исчисляются десятками миллионов знаков. Отчетная информация должна быть сопоставима в динамике и представлять собой показатели действующих форм статистической отчетности в разрезе автопредприятий по данным последних лет, накапливаемых на внешних носителях ЭВМ.

Наряду с отчетной информацией важнейшим элементом информационного обеспечения являются нормативы, которые в значительной мере предопределяют обоснованность и количественные значения рассчитываемых вариантов развития автомобильного транспорта. Состав, структура и уровень развития нормативной базы оказывают значительное

лияние на организацию моделей формирования развития транспортной системы, так как она является третьей составляющей (кроме математического аппарата, средств вычислительной техники), обеспечивающей достоверность разрабатываемых вариантов развития.

Перечень и характеристика используемых нормативных данных приведены ниже. Нормативы планирования могут иметь статический и динамический характер. Статические нормативы хранятся в составе нормативно-справочной информации, а динамические рассчитываются непосредственно при решении оптимизационных задач по специально разработанным алгоритмам.

Примером статических нормативов служат тарифные ставки и оклады работающих, нормативы межремонтных пробегов подвижного состава, техническая скорость автомобиля и др.

Динамический характер изменяющихся нормативов определяется прежде всего совершенствованием используемой техники, организации труда и транспортного процесса. К таким показателям относятся норматив затрат заработной платы на 1 руб. доходов, нормативы технико-эксплуатационных показателей использования грузовых автомобилей, нормативная производительность парка, различные нормативы расхода ресурсов и т. п.

Поэтому при разработке информационного обеспечения существенную роль играет комплекс планово-экономических задач, описывающих развитие транспортной системы в связанных между собой потоках данных.

Планово-экономическая задача представляет собой объединенный экономическим содержанием комплекс процедур переработки исходных данных, характеризующих процесс развития элементов транспортной системы, в некоторые редуцирующие, которые также объединены определенным экономическим содержанием. Традиционная организация передачи данных в процессе развития транспортной системы новыается главным образом на регламентированном движении документов между подразделениями аппарата управления.

Структура комплекса задач, представляющих процесс развития транспортной системы, является консервативной: она мало меняется от одной реализации процесса к другой при его повторении с заданным циклом (не менее одного-двух лет). В этих условиях обычное средство регламентации процессов планирования — система форм документов — также достаточно консервативно. Изменения в процессе планирования транспортной системы не настолько редки,

чтобы не заботиться о простоте адаптации к ним обеспечивающих средств, т. е. о простоте внесения изменений.

Модели оптимального планирования согласно признанной концепции являются отражением процесса развития транспортной системы. Ими, как правило, подготавливаются варианты фрагментов плана для оценки его специалистами-практиками. Информационное обеспечение данных моделей дает возможность говорить о той или иной степени адекватности подготавливаемых вариантов плана. На стадии разработки информационного обеспечения значительное внимание уделяется процессу определения показателей, их совместимости. Поэтому основными функциями информационного обеспечения комплекса задач оптимизации развития транспортной системы являются:

- получение извне первичных данных из документов;
- формирование нормативно-справочной информации;
- получение данных по расчетным формулам;
- передача данных между процедурами задач;
- выдача вовне результирующих данных о транспортной системе;
- хранение данных;
- корректировка данных.

Эти функции обосновываются тем, что имеющиеся в процедурах решения задач подготовительные и заключительные этапы носят унифицированный характер, а потому могут быть адаптированы в машинном варианте.

Функции информационного обеспечения по отношению к каждой задаче могут отличаться друг от друга, но общим для них является совместимость исходных и результирующих данных. Таким образом, ставится вопрос о совместимости информации для решения задач развития транспортной системы.

Понятие «информационное обеспечение», вообще говоря, примерно как к автоматизированным, так и к неавтоматизированным системам планирования и управления транспортным процессом. В том и другом случае решение указанной проблемы должно быть информационно обеспечено. В неавтоматизированных системах планирования и управления транспортным процессом информационное обеспечение составляют используемые в работе документы и соответствующие тома дел АТП и управлений. В отношении определения понятия «информационное обеспечение», связанного с машинным способом хранения и обработки информации, существуют разные мнения [70].

Часто под информационным обеспечением понимают определенным образом структуризованную информацию, пред-

назначенную для машинного хранения и использования прикладными программами (документы, массивы, система классификации и кодирования информации, перечень показателей и т. п.). Существует также точка зрения о том, что информационное обеспечение помимо информации, хранящейся на машинных носителях, включает программное обеспечение, осуществляющее управление информационным обеспечением.

Решая проблему развития транспортной системы, под информационным обеспечением будем понимать определенным образом структуризованную информацию, предназначенную для машинного хранения и использования прикладными программами. Процесс создания информационного обеспечения включает в себя четыре основных последовательных и связанных между собой этапов.

1. Определение круга должностных лиц и функциональных подразделений Минтранса УССР, региональных автотранспортных управлений и АТП, которые будут пользоваться информацией (пользователей).

2. Анализ потребностей будущих пользователей и отбор показателей, включаемых в информационные массивы. При формировании информационных массивов недостаточно знать только состав включаемых в них показателей, нужно знать также периодичность обращения к ним, число символов, которые потребуются хранить в памяти, общий объем запоминаемых данных и перечень пользователей, имеющих доступ к каждому массиву.

3. Определение всех показателей нормативного и справочного характера. Разделение выбранного состава показателей на данные постоянного и периодического использования. Это важно для организации оперативного доступа к разным частям базы данных.

4. Выбор способов классификации и кодирования данных, документов, операций и пр.

Анализ возможных способов создания информационного обеспечения решения проблемы развития транспортной системы показал, что можно выделить два подхода [71, 72]. Первый базируется на моделировании существующей деятельности специалистов автотранспортных предприятий, региональных управлений автомобильным транспортом на различных уровнях планирования транспортного процесса. Второй — на выборе данных о ходе транспортного процесса, обеспечивающих решение определенной задачи развития транспортной системы.

Что касается моделирования, т. е. первого подхода к созданию информационного обеспечения, представляется це-

лесообразным идти по пути построения информационной модели на основе изучения и формализованного представления закономерностей развития и функционирования транспортной системы или изучения и формального представления деятельности подразделений АТП, участвующих в планировании транспортного процесса.

Предложения по использованию методов моделирования при создании информационного обеспечения основаны на том, что транспортная система может быть представлена с различных точек зрения с необходимой степенью детализации, определяемой потребности в перевозках грузов.

Наибольшие трудности, возникающие при моделировании транспортной системы, связаны с тем, что информационная модель должна быть компактной, содержать необходимые и достаточные сведения для решения проблемы развития, предоставлять возможность получать в удобном виде необходимые сведения, иметь математическое описание, позволяющее составить алгоритмическую и программную реализацию на ЭВМ.

Для их преодоления предлагается информационную модель транспортной системы представить в виде комплекса взаимосвязанных блоков, каждый из которых описывает одну или несколько конкретных функций проблемы развития. Пусть  $N$  — количество АТП, функционирующих в системе, и характеризуется:

потребностями, определяемыми в первую очередь количеством заказов и номенклатурой перевозимых грузов по заявкам;

транспортными возможностями, определяемыми уровнем технического оснащения и организации автомобильного транспорта, совершенствования и интенсификации транспортного процесса;

парком автомобилей, функционирование которого определяется технико-экономическими характеристиками автотранспортных средств, их специализацией и распределением по АТП, системой организации использования;

составом парка автомобилей по длительности их эксплуатации, а также уровнем развития производственно-технической базы, воспроизводящей эксплуатационные свойства парка;

поставками подвижного состава для транспортных нужд; при формировании этих структур должны быть учтены качественные и количественные показатели парка автомобилей, уровни списания и т. д. Изучение существующих технологических процессов перевозки грузов, установление объемов перерабатываемых данных, определение характе-



ристик потоков информации, анализ форм документации АТП, определение минимального состава информации, необходимой для нормального развития и функционирования транспортной системы, позволили информационные связи представить тремя классами элементов системы: данными, документами, функциональными подразделениями.

Под потоком информации будем подразумевать поток документированной информации между подразделениями АТП, так как при изучении информации недокументированной возникают значительные трудности. Поэтому основная информация транспортной системы, используемая при организации транспортного процесса, так или иначе документируется. Даже необходимая информация, передаваемая по телефонным каналам или сообщаемая на совещаниях, впоследствии документируется. Изучение документированной информации важно еще потому, что это наиболее стабильная по составу и срокам представления часть данных.

Анализ потоков информации позволил определить информационные связи между элементами транспортной системы при помощи следующей зависимости [73]:

$$k_{ij} = \frac{E_s^{ij} + E_s^{jt}}{M_i + M_j} 100, \quad i, j \in N,$$

где  $k_{ij}$  — коэффициент информационных зависимостей между функциональными подразделениями АТП и управления;  $E_s^{ij}$  — количество массивов информации  $i$ -го АТП, используемых  $j$ -м подразделением управления;  $E_s^{jt}$  — количество массивов информации  $j$ -го подразделения управления, используемых  $i$ -м АТП;  $M_i$  — количество документов  $i$ -го АТП;  $M_j$  — количество документов  $j$ -го подразделения управления.

Коэффициент информационной взаимосвязи внутри  $n$ -го предприятия определяется следующим соотношением:

$$k_n = \frac{M_{ns}}{M_n} 100, \quad n = \overline{1, N}; \quad s = 1, 2, 3,$$

где  $M_{ns}$  — количество документов, имеющих информационные связи только на данном АТП;  $M_n$  — количество документов  $n$ -го АТП.

Поскольку количество и структура взаимосвязанных блоков зависят от особенностей информационных связей, проявляющихся между данными, документами и подразделениями, соответственно рассмотрим подробнее, что собой представляют эти связи. Будем говорить, что связи между данными — это алгоритмы преобразования одних данных в другие; связи между задачами, проявляющиеся в виде взаи-

связей документов,— это обмен значениями показателей между документами; связи между функциональными подразделениями — это обмен АТП и управления различными документами.

Пусть блоки первый и второй (рис. 4), предназначенные для описания связей между данными и между данными и документами, формируют конкретную задачу и определяют необходимые исходные данные. Блок третий — для описания

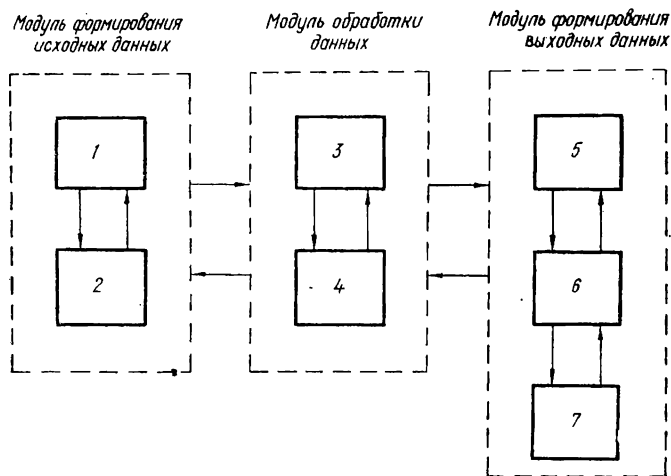


Рис. 4. Информационная модель объекта

связей между данными и функциональными подразделениями АТП и управления — указывает возможные источники получения данных. Четвертый — для описания связей между документами — определяет возможные объемы обрабатываемой информации. Блоки пятый — седьмой (пятый — для описания связей между документами и функциональными подразделениями предприятий, шестой — для описания связей функциональных подразделений предприятий, седьмой — для формирования выходных данных и документов) служат для определения списка пользователей информации.

Тогда информационная модель достаточно полно описывает сложную транспортную систему.

Целью информационного обеспечения являются построение достоверной картины состояния транспортной системы в каждый момент времени и своевременное обеспечение этой информацией соответствующих подразделений АТП и

равлений на основании информации, классифицированной следующим образом:

по отношению к вычислительной технике: входная, хранящаяся, выходная;

по стабильности: условно-постоянная, переменная;

по отношению к транспортному процессу системы: нормативная, справочная, плановая, оперативно-производственная, аналитическая, отчетная;

по отношению к носителям информации: документы, магнитные носители;

по периодичности поступления на вычислительный центр: ежедневная, декадная, месячная, квартальная, полугодовая, годовая, пятилетняя;

по срокам хранения: непродолжительного хранения, продолжительного хранения, архивные данные.

Достоверность состояния транспортной системы является понятием относительным и зависит от задач, стоящих перед ней, т. е. определяется в пределах ограничений, накладываемых решаемой задачей. В задаче по формированию вариантов развития транспортной системы оказалось целесообразным использовать следующие условия достоверности:

наименование документа должно соответствовать одному из принятых в информационной модели;

наименование элементов  $E_s$  должно содержаться в условно-постоянном массиве данных;

численное значение контролируемых данных, находящихся в соответствующем документе, удовлетворяет равенству  $E_s = f_s x_s$ , где  $E_s$  — значение контролируемых данных на выходе;

— алгоритм, описывающий способ действия  $s$ -го элемента;

— значения контролируемых данных на входе;

если во всех информационных потоках, реализовавших между и ту же связь между элементами  $E_{si}$  и  $E_{sj}$ , использу-

ются одно и то же количество данных, то общее количество данных в поступившем сообщении удовлетворяет равенству

$= e_1 k + b$ , где  $e_1$  — количество данных, относящихся к одному информационному потоку;  $k$  — количество информационных потоков, реализовавших связь между одними и теми

элементами  $E_{si}$  и  $E_{sj}$   $i$ -го АТП и  $j$ -го подразделения управления;  $b$  — количество данных об элементах  $E_{si}$  и  $E_{sj}$ .

Выполнение этих условий однозначно определяет недостоверность сообщения.

Вся технико-эксплуатационная информация, классифицированная для обработки на ЭВМ, является исходной при обработке данных, документов, массивов.

Входная информация поступает в форме документов.

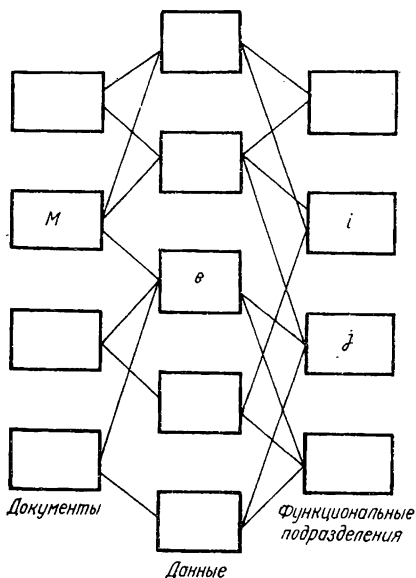


Рис. 5. Информационные связи

информация транспортной системы, можно заключить, что оно представляет собой совокупность единого способа классификации и кодирования информации, стандартных документов, массивов информации.

#### 4.2. ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ

Функционирование транспортной системы по обслуживанию населения характеризуют следующие качественные показатели: среднесписочное количество автомобилей, календарные дни в периоде, коэффициент выпуска парка на линию, номинальная грузоподъемность автомобилей; время пребывания в наряде, среднее расстояние перевозки грузов, коэффициент использования пробега, средняя техническая скорость автомобиля; соответственно динамический и статический коэффициенты использования грузоподъемности, время простоя транспортного средства под погрузкой и разгрузкой.

Необходимо определить рациональную динамику технико-эксплуатационных характеристик и количественный состав образующих парк автомобилей при заданных ресурсах

Пользователям же, как правило, нужны не сами документы, а определенные сведения, содержащиеся в них. Поэтому решаются две задачи: извлечение информации из документов и группировка и упорядочение данных для пользователей. Устанавливаются следующие виды связей (рис. 5): «документы — данные», «данные — функциональные подразделения». Графическое представление информационных связей позволяет выявить наличие информации и потребность в ней функционального подразделения.

Говоря о составе информационного обеспече-

весь планируемый период времени. В процессе формирования структуры парка автомобилей под заданные объемы заказов от реализации транспортных услуг, установленные менклатуру и структуру грузов, принятие решения и информация неразделимы. Нет информации, не может быть речи о каком-либо качественном решении.

Используемую информацию целесообразно разбить на следующие группы:

1. Планы развития АТП региона; план развития транспортной сети региона; планы объемов перевозок грузов по рассматриваемым АТП и в целом по региону; план распределения автомобилей по ТЭП и маршрутам; финансовый план и т. п.

2. Техничко-эксплуатационные показатели, характеризующие работу автопредприятий: коэффициент технической готовности подвижного состава; коэффициент выпуска подвижного состава на линию; коэффициент использования емкости (грузоподъемности); эксплуатационная скорость и т. п.; количественный и структурный состав всех видов ресурсов труда, автотранспортных средств, оборудования, которым располагает АТП; производственные мощности АТП; стоимость основных производственных фондов, входящих на одного работающего, и др.

3. Планы объемов транспортно-бытовых услуг (в целом по видам оказываемых услуг); планы объемов доходов от реализации услуг, планы потребности в автомобилях по типам и маркам; количество заказов населения; рост численности населения в плановом периоде, в том числе городского; ожидаемый рост товарооборота в планируемом периоде (топливо, строительные материалы и пр.).

Анализ указанных групп факторов дает возможность проверить разные варианты рационального использования автомобилей на их реализуемость при неизменных показателях групп 2 и 3. При неизменных показателях групп 1 и 2 можно составить диспетчерские и технологические характеристики, наилучшим образом обеспечивающие ресурсами выполнение всех операций по обслуживанию, диагностике и ремонту автомобилей. При неизменных показателях групп 1 и 2 можно выбрать направление развития ТСОИ и ТЭП. При неизменном плане объемов перевозок грузов для каждого варианта рационального использования автомобилей ТСОИ существует множество потенциально допустимых вариантов из групп показателей 2 и 3.

Указанная информация должна удовлетворять определенным требованиям, сформулированным в работах [1, 2]: быть достоверной, т. е. отображать истинное состояние

парка автотранспортных средств и транспортного процесса ТСОИ; быть своевременно доставлена соответствующим функциональным подразделениям АТП и ТЭП; быть совместимой по параметрам. Поэтому при решении задач возникает необходимость основное внимание уделять изучению потоков информации и существующего документооборота. Этот подход основан на выборе данных о процессе развития ТСОИ, обеспечивающих решение предварительно определенной задачи формирования рациональной структуры парка автомобилей. ТСОИ, как и всякая система, характеризуется, с одной стороны, данными, а с другой — конкретными задачами.

В первом случае для решения конкретной задачи используются различные данные. Акцент здесь делается на задаче. Во втором случае, который является более прогрессивным подходом при построении информационного обеспечения, конкретное данное используется для решения различных задач. Таким образом, акцент делается на данных. И вот в этом случае первостепенное значение приобретает база данных.

Количество массивов данных определяется числом технико-экономических показателей, описывающих развитие ТСОИ. Остановимся на составе массивов данных, образующих основу информационного обеспечения задачи развития ТСОИ.

1. Массив исходных данных первичных сообщений. Данные отражают текущее состояние ТСОИ, как так первичное сообщение однозначно определяет место, время и характер события, происшедшего в ТСОИ.

2. Массив накопительных данных. Содержит данные о фактически затраченных материальных ресурсах, накапливаемых по структурным элементам системы ТБОИ в результате многократного повторения производственных ситуаций транспортного процесса.

3. Массив нормативно-справочных данных (статистических норм и нормативов). Содержит данные о фактически затраченных ресурсах, отнесенных к единице подвижного состава и представленных по структурным элементам системы ТБОИ.

4. Массив условно-постоянных данных. Данные характеризуют структуру ТСОИ, коэффициенты пересчета информации из одного измерения в другое.

При организации массива накопительных данных используется условие, при котором наименования элементов  $E_{ai}$  и  $E_{aj}$ , указанных в поступившем сообщении, должны содержаться в массиве условно-постоянных данных. Это

значит, что каждое сообщение содержит данные только о структурных элементах  $E_s$  ТСОИ, участвовавших в транспортном процессе. Отсюда появляется возможность накапливать технико-эксплуатационные и экономические характеристики транспортного процесса по структурным элементам системы.

Анализ массивов данных, используемых в функциональных подразделениях ТСОИ, позволяет сделать вывод о том, что любая совокупность массивов, различных по функциональному назначению, разложима на рассмотренные массивы со следующей их взаимосвязью. По достоверным первичным сообщениям формируются массивы накопительных данных, которые по истечении планового промежутка времени нормируются, в результате создаются массивы текущих (статистических) нормативов. Из приведенных данных можно получить все, реально необходимые ТСОИ, массивы информации. Для этих целей введены коэффициенты пересчета, образующие основу информации ценников, прейскурантов, тарифов и т. д. Каждая система коэффициентов специализирована по конкретному элементу ТСОИ.

Исходные данные — это числовая или текстовая информация, представленная одиночными элементами данных (числовыми константами, словами) или массивами (одномерными и двумерными). Числовые константы могут быть целыми или вещественными; целая константа представляется целым числом, записанным без десятичной точки, вещественная — представляется:

числом с десятичной точкой, за которой следует десятичный порядок. Этот порядок записывается как буква  $E$ , за которой следует целая константа со знаком или без него, состоящая из одного или двух десятичных чисел;

числом с десятичной точкой, за которой следует дробная часть числа;

целым числом без десятичной точки.

Текстовая информация носит вспомогательный характер. Она служит для удобства представления исходных данных и для повышения степени документирования выходных данных, позволяя представлять их в форме различных таблиц с текстовым описанием видов услуг, грузов, марок автомобилей и т. п.

Исходные данные будем разделять на первичные и производные. Первичными будем называть класс данных, не подвергавшихся алгоритмическим преобразованиям (количество автомобилей по документу, цена и т. д.), производными — показатели, полученные в результате алгоритмических преобразований первичных данных. К ним, напри-

мер, относятся: производительность автомобилей, выполняющих перевозку грузов по заявкам населения; эксплуатационные затраты на перевозку грузов; некоторые промежуточные данные, представляющие собой обобщенные показатели транспортной системы по обслуживанию населения в целом или ее автотранспортных и транспортно-экспедиционных предприятий за некоторый промежуток времени.

Если исходные данные первичны, то в постановке задачи указываются наименование документа, содержащего эти данные, и максимальное количество документов АТП и ТЭП. Первичные данные используются для составления статистических и текущих отчетов, а также для оперативного управления ТСОН. Если исходные данные, полученные в результате реализации алгоритма производны, то указывается наименование документов, из которых они формируются. Если исходные данные являются условно-постоянными или нормативно-справочными, то указываются наименование документа или справочника, содержащего используемые для принятия решения данные, количество позиций в документе, периодичность изменения данных.

Подготовка исходной информации является наиболее трудоемким участком в процессе решения проблемы рационального использования автомобилей при транспортном обслуживании населения. Поэтому классификация исходной информации по видам использования в информационном обеспечении играет важную роль в сокращении трудовых затрат на подготовку данных, а следовательно, и в снижении себестоимости ее обработки.

#### **4.3. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

Информационное обеспечение задачи развития транспортной системы по обслуживанию населения состоит из информационных массивов, представляющих собой совокупность организованной специальным образом информации, описывающей транспортную систему по обслуживанию населения.

Информационный массив является поставщиком исходной информации, его структурная организация должна адекватно отражать процессы, происходящие в ТСОН, и обеспечивать информационные потребности определенного круга пользователей.

В процессе решения задачи развития ТСОН элементы информационного массива и весь массив подвергаются различным обрабатываемым процедурам: сортировке, перестройке, поиску необходимой информации. Для отражения



кущего состояния транспортной системы по обслуживанию населения массивы, содержащие исходную информацию, должны постоянно актуализироваться. Это особенно важно для таких данных, как вид транспортных услуг, тип и количество используемых автомобилей, тариф на перевозку грузов и т. п. В связи с этим из массивов удаляется устаревшая информация, добавляется новая, элементы массивов корректируются в соответствии с изменениями, происходящими в системе планирования. Структура массива не должна разрушаться или искажаться в процессе выполнения процедур обработки или актуализации.

Информационные массивы, содержащие информацию, описанную в п. 4.2, размещаются на устройствах памяти ЭВМ. От того, как и где они размещены, зависят скорость решения задачи, полнота и точность выдачи информации, экономические показатели. Размещенные на устройствах внешней памяти ЭВМ информационные массивы организованы в файлы. Основными информационными единицами являются наборы данных, хранящихся в устройствах внешней памяти ЭВМ, являются логическая и физическая записи и блок.

Логическая запись определяет информационную единицу. Она включает в себя все данные, которые используются в программе, указывается длина записи информационной единицы. Как правило, это в основном цифровые данные, и небольшое их количество имеет буквенное выражение. Примерами служат значения марок автомобилей, наименование услуг и экономических показателей.

Обмен между внешней памятью и оперативной осуществляется физическими записями. Количество логических записей, объединенных в физическую, называется коэффициентом блокирования, его величина определяется объемом блока, на вход которого поступает физическая запись, что блокируется и передается дальше в оперативную память.

Файл — это совокупность логически связанных записей, имеющая имя и описание в системе. Имя файла и его характеристики содержатся в специальной управляющей записи — метке файлов. Имена всех файлов вместе с адресами их хранения записываются в специальный каталог, с помощью которого обеспечивается автоматический поиск файла по имени хранящегося на внешнем носителе. Это физическая интерпретация термина «файл». Физически файл представляет собой участок поверхности носителя информации, где под общим названием хранятся физические записи.

Для решения задач развития транспортной системы по обслуживанию населения наиболее приемлемой организацией файлов является последовательная. Записи последовательного файла имеют фиксированную длину, т. е. заранее изучаются возможные размерности всех данных, необходимых для решения задачи, и устанавливается допустимая размерность всех данных.

Режим обработки последовательного файла является последовательным и произвольным. Последовательная обработка — наиболее естественный режим обработки файлов с последовательной организацией. Произвольная обработка позволяет программе производить операции над любой записью файла в соответствии с ее ключами. Поскольку в последовательном файле отсутствует связь между ключом записи и ее местоположением на носителе, то в оперативной памяти осуществляется просмотр всех записей, пока не найдется запись с необходимым значением ключа.

Технологический процесс переработки информации в прикладной программе представляет собой совокупность операций, выполняемых в соответствии с алгоритмом решения задачи. Под операцией понимается комплекс определенных действий, выполняемых на одном шаге алгоритма. Технологический процесс детализирует операцию, разбивая ее на элементарные части. Разрабатываемый технологический процесс должен обеспечивать конечную цель решения задачи при максимальной точности и достоверности.

Особенностью переработки информации при решении задачи развития ТСОИ является большое разнообразие операций обработки и вариантов выполнения каждой операции. В технологический процесс включаются только те операции, которые реализуются при решении задачи с изменяющейся информацией.

Типовыми операциями обработки информации являются: сбор, обработка и регистрация первичной информации, представляющей основные показатели развития ТСОИ; подготовка нормативно-справочной информации; контроль достоверности принятой информации и устранение ошибок; перенос данных на машинный носитель и контроль правильности переноса; ввод данных в ЭВМ и контроль правильности переноса; ввод данных в ЭВМ и контроль его правильности ввода; решение задачи по разработанному алгоритму (внутримашинная обработка данных) и формирование выходной информации; подготовка выходных документов о траектории развития ТСОИ в плановом периоде и передача их пользователю.

Технологические операции переработки информации по

очередности выполнения делятся на три группы: пред-, внутри- и послемашинная обработка информации. Каждая группа обеспечивает выполнение соответствующего этапа обработки информации и характеризуется определенными выходными формами ее представления.

**Предмашинная обработка информации** предусматривает выполнение типовых операций по сбору, регистрации, первичной обработке информации, содержащей технико-экономические показатели о транспортном обслуживании населения (вид транспортных услуг, тип используемых марок автомобилей, экономические показатели функционирования ТЭП, нормативно-справочные данные о работе автотранспортных средств, прогнозные данные об объемах транспортной работы и доходах, которые должно получить ТЭП).

Подготовленные данные вручную переносят на машинные носители, затем вводятся в ЭВМ под управлением специальных программ ввода-вывода операционной системы.

**Внутримашинная обработка** определяется характером прикладной программы, предназначенной для нахождения оптимального варианта развития ТСОИ, и организацией процессов введения информационных массивов. В результате решения задачи по разработанному алгоритму формируются выходные данные, имеющие вид отдельной записи или их группы, различных табличных данных.

**Послемашинная обработка** обеспечивает требуемые формы представления выходных данных, содержащих информацию о дальнейшем развитии ТСОИ, отображение выходных форм на носителях информации. В зависимости от требований пользователя и возможностей технических средств отображения информации могут быть различные формы представления выходных данных: они выводятся на печать, на дисплей, записываются на машиночитаемые носители и т. д.

Выходные данные о развитии ТСОИ перед выводом подвергаются редактированию. Этот процесс заключается в формировании данных в виде таблиц и приведении их к виду, удобному для восприятия пользователями. В прикладной программе должны быть разработаны модули, формирующие заголовки выходной формы, необходимые сообщения и комментарии.

Таким образом, технология обработки информации в процессе решения задачи развития ТСОИ основывается прежде всего на алгоритме решения задачи и дополнительных модулях представления выходной информации в виде таблиц, согласованных с пользователем.

**РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА  
ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ  
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ  
ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ**

**5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ  
ПАРКА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ  
ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-БЫТОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНА**

Уровень транспортного обслуживания населения при перевозке грузов по заявкам населения определяется, с одной стороны, степенью организации транспортно-экспедиционного предприятия, а с другой — степенью обеспеченности его транспортными средствами. Довольно часто эти два условия не согласованы между собой. Если организационная сторона транспортно-экспедиционного предприятия отлажена так, что имеет в своем перечне достаточно много услуг, удовлетворяющих запросы населения в транспортном обслуживании при перевозке грузов по заявкам, то автотранспортные предприятия не очень заинтересованы в обеспечении ТЭП необходимыми автотранспортными средствами. Использование автомобилей, не соответствующих по своим технико-эксплуатационным показателям структуре перевозимых грузов, приводит к увеличению расходов и снижению прибыли от выполняемой транспортной работы.

На киевском городском транспортно-экспедиционном предприятии доходы от оказания транспортных услуг составляют 75—80 %. В то же время ввиду несоответствия используемых автотранспортных средств, недостаточного их количества, неопределенного характера поступления заявок от населения на выполнение транспортных услуг план по доходам не выполняется иногда до 5—7 %. Всего ТЭП обслуживает 15 АТП, выделяя им от 2—3 до нескольких десятков автомобилей определенных марок. Ежедневно транспортным обслуживанием населения занято более 250 автомобилей. Распределение крупно- и малотоннажных автомобилей таково, что повременно работают около 82 % из них и только 18 — сдельно. Все виды транспортных услуг подразделяются на два типа: выполняемые автомобилями повременно; выполняемые автомобилями сдельно. Всего в ТЭП оказываются 22 вида транспортных услуг.

Для этого используется 18 марок автомобилей, работающих попеременно, и 8 — работающих сдельно.

Проблеме проектирования программного обеспечения локальных задач транспортных систем различного назначения посвящено много работ [17, 74, 75], а описанию отдельных замкнутых систем и их программных структур — явно недостаточно. Если говорить об использовании готового программного продукта для решения проблем сферы обслуживания, то, во-первых, следует определить его возможность и целесообразность; во-вторых, следует указать, что специальных постановок, алгоритмов и программных средств решения задач, имеющих практическое значение, весьма недостаточно; в-третьих, необходимо обратить внимание и на то обстоятельство, что менее всего разработаны программно-алгоритмические средства для реализации функций моделирования в транспортной системе по обслуживанию населения.

Дефицит готового программного продукта для сферы обслуживания ТСОИ объясняется в основном:

традиционно сложившимся недостаточным вниманием плановых органов к сфере обслуживания;

отсутствием общей методологии проектирования программ;

разницей в обеспеченности средствами вычислительной техники отраслевых систем;

использованием аппаратуры и номенклатуры стандартных серийно поставляемых устройств;

типом применяемых ЭВМ;

видами транспортных услуг, предоставляемых населению, и др.

Типовые ситуации реального планирования потребности в транспортных услугах населения, возможных способах их удовлетворения порождают задачу оптимизации структуры парка автотранспортных средств крупного региона.

Содержательная постановка формирования оптимальной структуры парка автотранспортных средств для транспортной системы по обслуживанию населения состоит в следующем. ТСОИ представляет собой транспортно-технологическую систему в некотором регионе, когда условия образования заявок населения на перевозку грузов определяют технологию транспортного обслуживания. Вероятностный характер технологических процессов образования грузов и спроса на них, связанные с ними транспортные процессы обуславливают простой подвижного состава или нерациональное его использование. Существенное значение при этом имеет структура парка автотранспортных средств, во

многим определяющаяся структурой перевозимых грузов и случайным поступлением заявок населения на их перевозку. Вероятностный характер поступления заявок не позволяет использовать крупнотоннажные автомобили, сгруппировав некоторые грузы для развозочных маршрутов. Поэтому более целесообразно наличие в структуре парка автотранспортных средств малотоннажных автомобилей. В то же время АТП не заинтересованы в них, потому что последние не находят широкого применения при перевозке народнохозяйственных грузов. Это противоречие между интересами АТП и транспортно-экспедиционного предприятия снижает уровень обслуживания населения. Поэтому требуется обосновать такую структуру парка автотранспортных средств из имеющихся в эксплуатации современных моделей и марок автомобилей, которая позволит наиболее эффективно организовать транспортный процесс.

Формирование структуры парка автотранспортных средств производится под заданные (в динамике) объем доходов от реализации транспортных услуг на планируемый период времени, структуру грузов с учетом рационального использования автотранспортных средств (по грузоподъемности и грузместимости) и снижение времени по обслуживанию заказчиков.

Изложенное позволяет сделать вывод о необходимости в процессе развития транспортной системы по обслуживанию населения определения такого оптимального количества автотранспортных средств (с учетом специализации) для перевозки грузов населения, при котором обеспечивается минимум приведенных затрат и потерь от невыполнения по доходам плана ТЭП при реализации транспортных услуг.

Задача выбора оптимальной структуры парка автотранспортных средств состоит в определении величин

$$r \in R, s \in S, t \in T, i \in N, \mathfrak{M} \in \mathfrak{M}, f(\mathcal{F}(t, t)), \\ |f \in \mathcal{F}(iT)| \phi | r \in R, s \in S|,$$

где  $R$  — множество возможных марок автомобилей;  $S$  — множество оказываемых населению региона транспортных услуг по перевозке грузов;  $N$  — множество возможных состояний развития структуры парка АС;  $T$  — период развития структуры парка автотранспортных средств;  $\mathfrak{M}$  — множество ограничений на область оптимальных решений по развитию структуры парка автотранспортных средств;  $\mathcal{F}$  — множество функций.

Под состоянием транспортной системы по обслуживанию

населения понимается совокупность всех элементов, принимающих участие в транспортном обслуживании населения. Состоянием элемента в год  $t$  назовем множество используемых марок  $R$  и множество выполняемых транспортных услуг  $S$ .

При оптимизации структуры парка автотранспортных средств должно быть обеспечено

$$\text{extr } \mathcal{F}(x_{it}^m), \quad f_i(x_{it}^m) \leq v_i^m, \quad i \in N; \quad t \in T; \quad m \in \mathfrak{M}, \\ v_i^m \rightarrow \min$$

где  $\mathcal{F}(x_{it}^m)$  — функция критерия эффективности структуры парка автотранспортных средств при заданном наборе параметров.

Математическая модель имеет вид

$$\mathcal{F} = \{\mathcal{F}_1(x_{i1}^m), \dots, \mathcal{F}_t(x_{it}^m), \dots, \mathcal{F}_T(x_{iT}^m)\}, \quad x_{it}^m \in X^m, \quad (5.1.1)$$

где  $\mathcal{F}_i(x_{it}^m)$  — критерий эффективности, рассчитываемый на каждом этапе определения структуры парка автотранспортных средств;  $X^m$  — допустимая область альтернатив, определяемая ограничениями  $\mathfrak{M}$ ;  $x_{it}^m$  — альтернатива, отображающая вариант решения задачи (5.1.1) на  $t$ -м этапе для  $i$ -го состояния структуры парка автотранспортных средств.

На практике нередко удается найти сразу несколько допустимых состояний структуры парка автотранспортных средств. Выбор ее оптимальных вариантов для транспортной системы по обслуживанию населения производится по критерию

$$\mathcal{F} = \min(\mathcal{F}_1(x_{i1}^m) + \dots + \mathcal{F}_t(x_{it}^m) + \dots + \mathcal{F}_T(x_{iT}^m)). \quad (5.1.2)$$

При решении задачи предполагается:

1. Транспортно-экспедиционное предприятие должно быть рентабельно:

$$\mathcal{D}_i^{\text{факт}}(x_{it}^m) \geq \mathcal{D}_i^{\text{пл}}, \quad (5.1.3)$$

где  $\mathcal{D}_i^{\text{факт}}(x_{it}^m)$ ,  $\mathcal{D}_i^{\text{пл}}$  — соответственно фактическая и плановая производительность системы ТБОН по удовлетворению выполнения заказов населения на перевозку грузов (выраженная через доходы ТЭП).

Для определения значений показателя эффективности функционирования транспортной системы по обслуживанию населения в простейшем случае достаточно взять разность фактического и планового доходов в ТЭП.

2. Все автотранспортные ресурсы, выделенные ТЭП, должны быть использованы рационально при оказании транспортных услуг населению:

$$\sum_{r \in R} \sum_{s \in S} a_{itrs} (x_{it}^m) \omega_{itrs} \leq W_{it}, \quad i \in N; \quad t \in T; \quad (5.1.4)$$

где  $a_{itrs}$  — количество автомобилей  $r$ -й марки по  $i$ -му состоянию структуры парка автотранспортных средств в году  $t$ , выполняющих  $s$ -е транспортные услуги;  $\omega_{itrs}$  — годовая производительность автомобиля  $r$ -й марки по  $i$ -му состоянию структуры парка автотранспортных средств при выполнении  $s$ -й транспортной услуги;  $W_{it}$  — годовая общая производительность парка автотранспортных средств по  $i$ -му состоянию структуры.

3. Все потребности заказчиков на перевозку грузов в регионе должны быть удовлетворены:

$$\sum_{s \in S} k_{its} \Theta_{its} (x_{it}^m) \leq W_{it}, \quad i \in N; \quad t = T, \quad (5.1.5)$$

где  $k_{its}$  — количество заказов на выполнение  $s$ -й транспортной услуги в году  $t$ ;  $\Theta_{its} (x_{it}^m)$  — объем перевозок по  $s$ -й транспортной услуге, выполненный при  $i$ -м состоянии структуры парка автотранспортных средств в году  $t$ .

Математическая модель задачи (5. 1. 1) — (5. 1. 5) представляет собой закрытую модель динамического программирования. Таким образом, конкретный метод решения определен видом и характером поставленной задачи.

Для каждого года  $t$  при изучении развития структуры парка автотранспортных средств рассматриваются только работоспособные состояния. Состояние  $i$  считается работоспособным в год  $t \in [1, T]$ , если парк автомобилей  $A_{rs}^i$  в данном состоянии обеспечивает выполнение заданного объема перевозок (в машино-часах и автотоннах), т. е. должны выполняться условия (2. 3. 7), (2. 3.8), (5. 1. 3). Пополнение парка не должно превосходить плановой величины капитальных вложений в каждом состоянии  $i$ , здесь должно выполняться условие (2. 3. 9).

Эксплуатационные затраты  $r$ -й марки автомобиля при выполнении  $s$ -й услуги рассчитываются по формулам

$$\begin{aligned} \Theta_{rs} &= C_1^r + C_2^r + C_3^r; \\ C_1 &= C_{\text{пер}}^r Z_r, \end{aligned}$$

где  $C_1^r$  — переменная часть эксплуатационных затрат, связанная с эксплуатацией автомобиля  $r$ -й марки;  $L^r$  — годово



ой пробег автомобиля  $r$ -й марки;  $C_2^r$  — постоянная часть эксплуатационных затрат (общие накладные расходы) автомобиля  $r$ -й марки;  $C_3^{rs}$  — часть эксплуатационных затрат, связанных с заработной платой водителей при выполнении  $s$ -й услуги.

$$C_{rs} = \begin{cases} 303 k C_{rs} t_n^r & \text{для автомобилей, работающих повременно;} \\ k \left( 303 C_T^{Hr} q_r \frac{t_n^r}{\beta_r v_r^T} + t_{rs}^{n-p} + C_{TKM}^{Hr} W^{rs} \right) & \text{для автомобилей, работающих сдельно,} \end{cases}$$

где  $k$  — коэффициент на премии к зарплате;  $t_n^r$  — время в наряде автомобиля  $r$ -й марки;  $C_{rs}$  — часовая тарифная ставка для рабочих предприятий автотранспорта;  $t_{rs}^{n-p}$ ,  $C_T^{Hr}$  — норма времени простая при выполнении  $s$ -й услуги и сдельная расценка автомобиля  $r$ -й марки;  $l^r$  — средняя длина груженой единицы автомобиля  $r$ -й марки;  $v_r^T$  — техническая скорость автомобиля  $r$ -й марки;  $C_{TKM}^{Hr}$  — сдельная расценка на 1 ткм автомобиля  $r$ -й марки;  $W^{rs}$  — годовая производительность автомобиля  $r$ -й марки при выполнении  $s$ -й услуги.

Капитальные вложения  $i$ -го состояния определяются по формуле

$$K_i = \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R C_r \mathcal{A}_{rs}^i,$$

капитальные вложения по переходу из состояния  $i = \overline{1, J}$  в состояние  $j = \overline{1, J}$  — по выражению

$$K_{ij} = K_j - K_i.$$

Предполагаемый ущерб от невыполнения плана по доходам определяется на основании ретроспективной информации о доходах, выполнения плана транспортной работы в машино-часах и автотоннаж. Для этого определяются предыдущие годы  $t^*$ , в которых  $\mathcal{O}^\Phi < \mathcal{O}^{пл}$ :

$$p_{t^*} = \frac{\mathcal{O}^{пл} - \mathcal{O}^\Phi}{\mathcal{O}^{пл}}, \quad t^* \in \overline{1, T^*}.$$

Среднее значение вероятности

$$p_{ср} = \frac{\sum_{t^*=1}^{T^*} p_{t^*}}{T^*}.$$

Для каждого года исследуемого периода определяется темп роста прогнозной величины доходов по формуле

$$\tau_t = \frac{\mathcal{D}_t}{\mathcal{D}_{t-1}}.$$

Вероятность ущерба от невыполнения перевозок в задаче представлена в виде матрицы размерностью  $i \times t$  с элементами

$$p_{it} = p_{ср} \prod_{t=1}^T \tau_t \prod_{i=1}^J \zeta_t,$$

где  $\zeta_t$  — показатель динамики изменения общего количества автомобилей при переходе от состояния  $(i-1)$  к состоянию  $i$ :

$$\zeta_t = \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R \mathcal{A}_{rs}^{i-1}}{\sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R \mathcal{A}_{rs}^i}.$$

Произведение вероятности ожидаемого невыполнения плана по доходам в году  $t$  в случае выбора  $i$ -го состояния развития на доходы в том же году даст величину ущерба, которая должна быть минимальной наряду с общими расходами системы в процессе ее развития.

## 5.2. АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СХЕМА РЕАЛИЗАЦИИ КЛАССА ЗАДАЧ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ НАСЕЛЕНИЯ

С каждой экономико-математической моделью связана задача построения рационального содержания алгоритма. Современная практика предъявляет к алгоритмам требования быстроты, точности, адекватности, обобщенности, комплексности.

Для решения задач перспективного развития сложной транспортной системы по обслуживанию населения, экономико-математические модели которых описаны во второй главе, предлагается алгоритмическая схема, основанная на методе последовательного анализа, сравнения и отсеивания бесперспективных вариантов. Она отвечает всем перечисленным требованиям, наиболее полно учитывает специфику данного класса задач и позволяет построить такие траектории развития сложных технико-экономических систем, которые переводят их из некоторого начального в фиксированное конечное работоспособное состояние

так, что за весь планируемый период значение критерия минимально.

Разработанная алгоритмическая схема может функционировать в двух режимах, что определяется в зависимости от того, к какой группе региональной системы относится АТП, т. е. создается новое АТП ( $h = 6$ ) или реконструируется и расширяется производственно-техническая база существующего ( $h = 1, 5$ ). Различие в функционировании алгоритмической схемы наблюдается на первом шаге. В первом случае затраты  $Z_{i_0}$ , соответствующие начальному состоянию  $i_0 = \overline{1, I}$ , представляют собой капиталовложения в создание состояния, т. е.  $S_{i_0} = K_{i_0}$ . Во втором случае затраты представляют собой сумму капиталовложений в переход системы из начального состояния  $i_0$  в состояние  $i$  и текущих затрат по состоянию  $i$ , т. е.  $Z_i = K_{i_0 i} + \Xi_i$ .

Опишем правило расчета приведенных затрат для траекторий, переводящих систему из начального в фиксированное конечное состояние последовательно по годам  $t = \overline{1, T}$ . Предполагается, что переход из состояния  $I_k$  в состояние  $I_l$  возможен только в том случае, если они удовлетворяют соотношению

$$I_k \subset I_l, \quad (5.2.)$$

т. е. если состояние  $I_l$  включает в себя как частный случай состояние  $I_k$ .

Предполагается, что состояние системы в каждом году определяется таблицей соответствия:

Год	1	2	...	T
Состояние	$I_1$	$I_2$	...	$I_T$

Условие (5.2.1) в этом случае выражается в виде  $I_0 \subset I_1 \subset I_2 \subset \dots \subset I_T$ . Тогда приведенные затраты, обусловленные переходом из начального состояния в любое промежуточное, например года  $t + 1$ , определяются рекуррентным соотношением

$$Z_{i \in I_{t+1}} = \min [Z_{i \in I_t} + (K_{i \in I_t, i \in I_{t+1}} + \Xi_{i \in I_{t+1}})\eta]. \quad (5.2.2)$$

Используя многократно формулу (4. 2. 2.), можно раскрыть приведенные затраты через капвложения и эксплуатационные расходы по годам развития системы:

$$\sum_{\tau=1}^t (K_{\tau} + \Xi_{\tau}) \eta^{\tau} = \min (\min \dots (\min (Z_{i \in I_0, i \in I_0} +$$

$$\begin{aligned}
& + (K_{i \in I_0, i \in I_1} x_{i \in I_0, i \in I_1} + \mathcal{E}_{i \in I_1}) \eta^1 x_{i \in I_1} + \\
& + (K_{i \in I_1, i \in I_2} x_{i \in I_1, i \in I_2} + \mathcal{E}_{i \in I_2}) \eta^2 x_{i \in I_2} + \dots \\
& \dots + (K_{i \in I_{t-1}, i \in I_t} x_{i \in I_{t-1}, i \in I_t} + \mathcal{E}_{i \in I_t} \eta^t),
\end{aligned}$$

где  $\sum_{\tau=1}^t (K_{\tau} + \mathcal{E}_{\tau}) \eta^{\tau}$  — суммарные приведенные затраты по отрезку траектории, приводящей систему в году  $t$  в состояние  $i \in I_t$ ;  $I_t$  — область работоспособных состояний года  $t$ ;  $K_{i \in I_{t-1}, i \in I_t}$  — капиталовложения, необходимые для осуществления перехода из состояния  $i \in I_t$  в состояние  $i \in I_{t-1}$ ;  $\mathcal{E}_{i \in I_t}$  — эксплуатационные расходы по состоянию  $i \in I_t$ ;  $x_{i \in I_t}$  — булева переменная, определяющая работоспособность состояния  $i \in I_t$ ;  $x_{i \in I_{t-1}, i \in I_t}$  — булева переменная, определяющая допустимость смежности (перехода)  $I_t$  и  $I_{t-1}$ .

Такая запись функции-критерия наглядно иллюстрирует возможность проведения оптимизационных расчетов и ее математические свойства — аддитивность, монотонную рекурсивность.

Пользуясь методом последовательного анализа и отсеивания бесперспективных вариантов для дискретных детерминированных процессов управления, можно построить достаточно простой и удобный для практической реализации алгоритм, который в общих чертах заключается в следующем. Процесс поиска решения представляется в виде некоторой последовательности шагов. Если условимся, что движение системы происходит не чаще одного раза в году, то на отрезке времени  $[1, T]$  система пройдет не более  $T$  шагов.

Последовательно по шагам рассматриваются допустимые согласно требованиям плана и другим необходимым ограничениям траектории  $b$  развития системы. Исследуется возможность всех допустимых переходов из состояния  $i \in I_{t-1}$  в каждое работоспособное состояние  $i$  года  $t$  с целью определения допустимых отрезков траекторий  $b(1, t)$  развития системы. Для всех допустимых отрезков траекторий определяются приведенные затраты  $Z_{i \in I_t}$ , складывающиеся из суммарных приведенных затрат  $Z_{i \in I_{t-1}}$  для траектории, заканчивающейся состоянием  $i$  в год  $t-1$ , и затрат по переходу системы из состояния  $i \in I_{t-1}$  в  $i \in I_t$  с учетом коэффициента  $\eta^t$  приведения года  $t$ .

Суммарные приведенные затраты по траектории, заканчивающейся состоянием  $l$  в год  $t$ , обозначим через  $PZ_{lt}$ , а капиталовложения, необходимые для функционирования этого состояния, — через  $K$ .

Как только происходит совпадение допустимых отрезков траекторий в одном состоянии и выполняются условия (5.2.1), (5.2.2), из дальнейшего рассмотрения исключаются неперспективные траектории. Из всех допустимых отрезков траектории для продолжения анализа и отсева оставляется один, который дает минимум  $\mathcal{F}_T(b)$ , т. е. для шага  $t$  определяются наименьшие суммарные приведенные затраты и для них запоминается частично-оптимальное состояние  $i$  шага  $t-1$ . Пропуская описанные процедуры для шага  $t$ , перейдем к шагу  $t+1$  и т. д. вплоть до шага  $T$ . На шаге  $T$  определяется минимальное значение среди суммарных приведенных затрат, соответствующих траекториям, которые заканчиваются фиксированными конечными работоспособными состояниями. Затем находится оптимальное состояние шага  $T-1$ , соответствующие ему затраты и т. д. Применяя последовательно, шаг за шагом описанную процедуру, дойдем до первого шага. Производя таким образом пошаговую оптимизацию, находим оптимальную последовательность состояний  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_t, \dots, I_T\}$  по годам развития системы. Эта последовательность определяет оптимальный вариант на некотором отрезке времени  $[1, T]$  по значению критерия  $\mathcal{F}_T(b)$ .

Работу алгоритма иллюстрирует блок-схема, приведенная на рис. 6. Дадим ее описание.

1. Начало программы.
2. Описание массивов.
3. Ввод данных в оперативную память с магнитного диска.
4. Расчет доходов.
- 5—7. Проверка ограничений.
8. Занесение признака «1» в матрицу работоспособности состояний.
- 9, 18. Проверка на окончание периода исследования.
10. Переход к следующему году исследования.
- 11, 17. Проверка количества рассмотренных состояний системы.
12. Переход к следующему состоянию системы.
- 13, 19, 21. Печать: матрицы работоспособности состояний системы; матрицы оптимальных последовательностей состояний системы; вектора оптимальных значений развития структуры парка автомобиля.
- 14, 15, 16. Расчеты: матрицы капитальных вложений по переходу из состояния в состояние системы; массива эксплуатационных затрат для каждой марки автомобиля, работающего попеременно и сдельно; матрицы приведенных

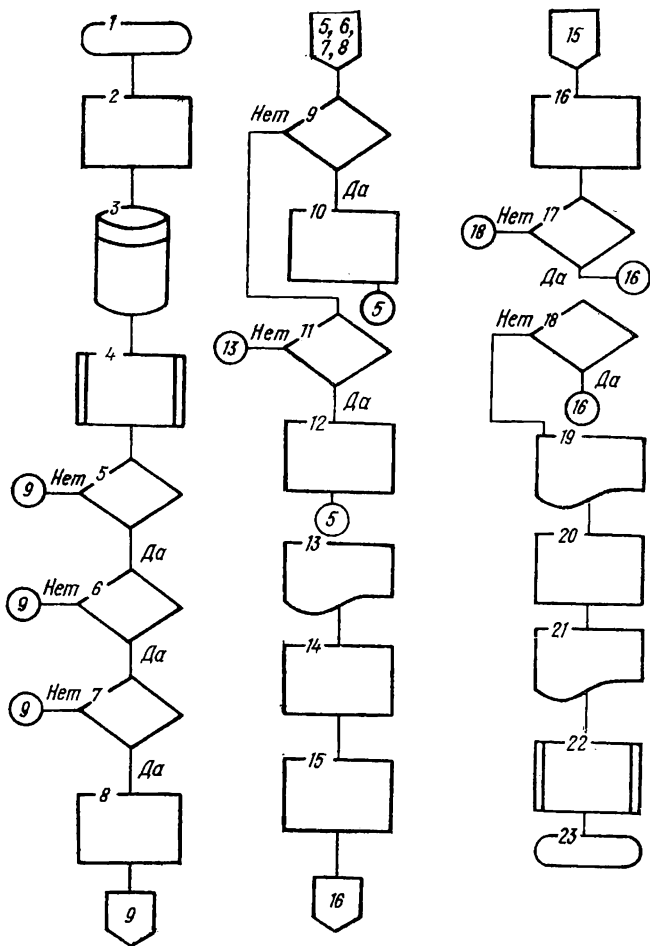


Рис. 6. Блок-схема алгоритма

затрат и матрицы оптимальных последовательностей состояний системы.

20. Выбор оптимальной последовательности состояний системы.

22. Обращение к подпрограмме организации выходных документов.

23. Конец программы.

Изложенный алгоритм позволяет рассмотреть все возможные варианты развития транспортной системы по об-

служиванию населения и получить следующие результаты:

определить наряду с оптимальным вариантом близкие к нему по значению критерия  $\mathcal{F}_1(\theta)$ ;

получить вариант, не только оптимальный для системы в целом, но и оптимальный по фиксированному конечному состоянию на некотором шаге  $t \in T$ ;

варьировать исходными данными, такими, как плановая мощность АТП, максимальная мощность транспортной системы, максимальная мощность каждого состояния исследуемой системы и др.;

ввести в систему новые типы АТП или изъять некоторые типы из рассматривающихся в ней;

получить информацию для определения устойчивости параметров состояния системы при изменении исходных данных по каждому из рассматриваемых АТП;

определить не только оптимальную тенденцию развития структуры парка производственно-технической базы каждого АТП на достаточно отдаленную перспективу, но и оптимальное управление развитием в ближайшие 3—5—10 лет при достоверной исходной информации;

охватить достаточно широкий круг задач связанных с региональным планированием развития.

Для приведенного алгоритма выполнена программная реализация на ЭВМ. Программа состоит из двух самостоятельных частей. Первая выделяется из общей программы в целях экономии памяти ЭВМ и ускорения расчета. В ней предусмотрено формировать массив всех возможных сочетаний независимых параметров, входящих в состояния, при различных их значениях, допустимых в исследуемом периоде, а также массивы экономических показателей по каждому состоянию. В случае зависимых параметров (когда значения их наращиваются не произвольно по каждому отдельному параметру, а комплексно, как, например, при оснащении производственно-технической базы АТП гаражным и технологическим оборудованием) алгоритм обогащается одним блоком, в котором производится анализ совокупности параметров состояния.

Число всех возможных сочетаний параметров определяет количество состояний системы  $I$ . При малом их количестве имеет смысл строить таблицу капитальных вложений по переходу размерностью  $I+I$ . Если оперативная память не может вместить такую таблицу для каждого перехода системы из одного состояния в другое,  $K_i$  вычисляется в программе второй части алгоритмической схемы. Это несколько увеличивает время счета, однако дает существенную экономию оперативной памяти ЭВМ.

Поскольку первая часть является программой автоматизированного построения состояний системы и не представляет интереса с точки зрения экономико-математических методов, описание и блок-схема ее в данной работе не приводится. Отметим только, что информация о параметрах  $\{b_i\}$  состояний, их экономических показателях, полученная в результате работы первой части программы, является исходной для работы второй части.

Во второй части программы предусмотрено: наладить срок сравнения вариантов  $T$ , минимальный для опеределения оптимальной тенденции развития АТП в регионе; проводить оптимизацию в пределах этого срока; выдавать на печать не только конечные, но и промежуточные результаты (суммарные капиталовложения и эксплуатационные расходы, количество автотранспортных средств, оборудования и др.) как по годам пятилетки, так и по каждой пятилетке в отдельности; прекращать расчеты с выводом полученных результатов на печать на некотором шаге  $t < T$  в том случае, если программа не обнаружит ни одной траектории  $\mathcal{B}$ , удовлетворяющей значениям плановых показателей и ограничений.

### 5.3. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ПАРКА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Для решения задачи оптимизации развития структуры парка автотранспортных средств разработана программа STPARC \* для ЭВМ СМ-4, реализующая метод последовательного анализа вариантов. Программа реализована на стандартном языке ФОРТРАН-IV и представляет собой основной модуль STPARC и подпрограмму STDOC типа SUBROUTINE. Модуль STPARC осуществляет ввод исходных данных, перекодировку входной информации, основную процедуру решения задачи. Модуль STDOC предназначен для организации выходных документов и его вызов осуществляется в головном модуле программы STPARC с помощью оператора CALL.

Исходные модули основной программы STPARC и подпрограммы STDOC записаны на магнитной ленте в наборе с именем F 12,01 программой BRU:

```
BRU > |MOU|REW|BAC:F120, 1 □ DK1:[120, 1] □ MT0:;
```

загрузочный модуль STPARC, TSK —

```
BRU > |MOU|REW|APP|BAC:F120, 2 □ DK1:[120, 2] □  
□ MT0:;
```

---

\* Программа разработана совместно с А. Н. Федорко.



вся необходимая информация для контрольного примера —  
BRU>|MOU|REW|APP|BAC:F120,3: □ DK1:[120, 3] □  
□ MT0:.

Для вызова и загрузки программы необходимо:  
на DK1 создать каталог файлов пользователя с именем  
[120, 2]:

UFD □ DK1:[120, 2];

программой BRU скопировать загрузочный модуль из  
набора F120, 2 на магнитной ленте в каталог [120,2] на  
DK1:

BRU>|REW|MOU|BAC:F120, 2|VER □ MT0: □  
□ DK1:[120, 2];

программой BRU скопировать исходную информацию из  
набора F120, 2 на магнитной ленте в каталог [120,2] на  
DK1:

BRU>|REW|MOU|BAC:F120, 3|VER □ MT0: □  
□ DK1:[120, 2];

выполнить команду установки и загрузки задачи RUN  
STPARC.

По программе STPARC были реализованы на ЭВМ мо-  
дели, изложенные в главах 2 и 3 данной монографии. При-  
ведем пример реализации указанной программы примени-  
тельно к решению задач (2.3.6) — (2.3.10), (5.1.1) — (5.1.5)  
оптимизации структуры парка автотранспортных средств  
для транспортно-бытового обслуживания населения г. Кие-  
ва. В полном объеме исходные данные необходимо вводить  
для первоначального расчета структуры. Для последующих  
вариантов изменение параметров может быть осуществлено  
в процессе диалога с ЭВМ.

Входные данные для работы программы STPARC долж-  
ны быть записаны предварительно в виде файлов в каталог  
пользователя [120, 2] на магнитный диск с помощью тек-  
стового редактора TED. Контроль вводимой информации  
осуществляется визуально.

Ввод всех вещественных величин осуществляется без  
десятичной точки, а ее положение определяется заданным  
форматом. Чтение файлов в оперативную память в процес-  
се работы программы осуществляется по записям.

Оператором DATA присваиваются начальные значения  
следующим параметрам программы и коэффициентам:  
количеству состояний ( $N$ );

общему количеству видов услуг по перевозке грузов ( $KS$ );

количеству видов услуг, выполняемых автомобилями, работающими повременно ( $KS1$ );

общему количеству марок автомобилей, выполняющих заказы населения в транспортной системе по обслуживанию населения ( $KR$ );

количеству марок автомобилей, работающих повременно ( $KR1$ );

периоду планирования развития структуры парка автотранспортных средств ( $KT$ );

отраслевому коэффициенту эффективности капитальных вложений ( $EN=0,15$ );

коэффициенту на премии к заработной плате водителям ( $CF=1,3$ ).

Для каждого исследуемого периода развития системы ТБОН выходная информация в формах табличного вида содержит сведения: о структуре парка автотранспортных средств (тип, марка, грузоподъемность и количество автомобилей); о распределении автомобилей по видам услуг; экономические показатели (капитальные вложения, эксплуатационные расходы, плановые доходы от повременно и сдельно работающих в системе ТБОН автомобилей, объем выработки на повременно и сдельно работающих автомобилях, размер ущерба от невыполнения плана ТЭП по доходам и т. п.). Вся эта информация может быть классифицирована следующим образом.

Условнопостоянная: перечень марок автомобилей; перечень видов транспортных услуг, оказываемых населению; состояния системы.

Нормативно-справочная: технико-эксплуатационные показатели работы автомобильного транспорта.

Справочная: информация о типах автомобилей.

Переменная: доходы, получаемые от эксплуатации автомобилей, работающих повременно и сдельно; выработка на 1 машино-час и 1 автотонну; капитальные вложения на пополнение парка автотранспортных средств: количество заявок на перевозку грузов по всем состояниям и годам исследуемого периода.

Каждое состояние структуры парка автотранспортных средств представляет собой распределение количества автомобилей  $r$ -й марки между транспортными услугами и имеет размерность  $S \times \mathcal{R}$ . Переход из  $i$ -го состояния в  $i+1$  предусматривает, что количество автомобилей  $r$ -й марки, выполняющих  $s$ -е услуги, не убывает, т. е.  $\mathcal{A}_{rs}^i \leq \mathcal{A}_{rs}^{i+1}$ .

Наборы входных данных содержатся в 24 файлах, имею-

щих последовательную организацию, и заносятся в каталог файлов пользователя. Каждый файл имеет имя. Правильность ввода входных данных проверяется по их контрольной печати.

Распределение входных данных в файлах следующее:

- MASP.DAT — состояния развития структуры парка автотранспортных средств;
- WSP.DAT — выработка на 1 машино-час и 1 авто-тонну по годам исследуемого периода;
- DOXPS.DAT — доходы, полученные в результате работы поврежденных и сдельных автомобилей по годам исследуемого периода;
- TKW.DAT — плановые капитальные вложения по годам периода исследования;
- MSOSTR.DAT — суммарное количество автомобилей по маркам по каждому состоянию;
- KE.DAT — количество ездов, выполняемых в течение дня автомобилями, работающими сдельно;
- BTYP.DAT — список кодов типов автомобилей;
- KMS.DAT — общее количество автомобилей по каждому состоянию;
- DOXTIN.DAT — суммарные доходы по годам периода исследования;
- MGOD.DAT — справочник нумераций годов периода исследования;
- DSMOD.DAT — справочник марок автомобилей;
- DSWU.DAT — справочник видов услуг;
- DSTYP.DAT — справочник типов автомобилей 1;
- DSTYP1.DAT — справочник типов автомобилей 2;
- BTKM2.DAT — грузоподъемность автомобиля, нормы времени на 1 ткм при работе автомобилей 2-й группы, сдельные расценки;
- DMOS.DAT — вероятность ущерба от невыполнения плана по доходам;
- MT2.DAT — перечень кодов видов услуг, выполняемых автомобилями-самосвалами;
- TT3.DAT — справочник верхних границ интервалов грузоподъемности для расчетов эксплуатационных затрат автомобилей-самосвалов;
- TNREX.DAT — грузоподъемность автомобилей, средняя длина груженой ездки, время в наряде, техническая скорость, коэффициент использования пробега, оптовая цена автомобилей;

- TREX.DAT — общие накладные расходы, годовой пробег автомобилей, годовая производительность автомобилей, затраты на топливо, смазочные материалы, ТО и ТР, на шины, амортизационные затраты на восстановление и капитальный ремонт;
- TREP.DOC — грузоподъемность автомобилей, часовые тарифные ставки для автомобилей 1, 2 и 3-й групп;
- BNSS.DAT — нормы времени простоя при погрузке автомобилей-самосвалов в зависимости от их грузоподъемности, сдельные расценки;
- BNB.DAT — грузоподъемность автомобилей, нормы времени простоя при погрузке бортовых автомобилей, сдельные расценки;
- BTKM1.DAT — грузоподъемность автомобилей, нормы времени на 1 ткм при работе автомобилями 1-й группы, сдельные расценки.

Программа STPARC. (загрузочный модуль STPARC.TSK) и контрольный пример записаны на магнитной ленте в наборах F 12,20 и F120,3 соответственно.

Для выполнения контрольного примера необходимо: на диске DK1 создать каталог пользователя с именем [120,2]

UFD □ DK1 : [120, 2];

скопировать наборы F 120,2 и F 120,3 с магнитной ленты в каталог [120,2] на DK1 с помощью программы BRU:

BRU > |REW|MOU|BAS:F120, 2|VER □ MTQ: □  
□ DK1 : [120, 2];

BRU > |REW|MOU|BAS:F120, 3|VER □ MTQ: □  
□ DK1 : [120, 2].

Ввести с дисплея команду RUN. STPARC. В процессе выполнения модуля на терминал выдаются следующие сообщения, не требующие ответов программиста и по которым можно следить за ходом выполнения программы:

«Ввод окончен» — все файлы из каталога пользователя введены в оперативную память;

«MRT заполнена» — окончено заполнение матрицы работоспособности состояний транспортной системы по обслуживанию населения;

«Обращение к STPARC» — обращение к подпрограмме вывода результатов на АЦПУ.

Если при выполнении ввода в программах STPARC и STDOC обнаруживается ошибочное состояние, на терминал выдается сообщение «Ошибка ввода STPARC» или «Ошибка ввода STDOC» и происходит останов машины. В этом случае необходимо запустить программу снова, а если ошибка ввода повторится, проверить информацию, записанную в файлах.

В качестве выходных показателей выступают: тип и марка автомобиля, принимающего участие в рассматриваемом виде транспортных услуг; его грузоподъемность; общее количество автомобилей по принимаемому варианту развития в году  $t$ ; капитальные вложения; эксплуатационные затраты; доходы плановые и расчетные соответственно принятому варианту развития; выработка и величина возможного ущерба.

Указанные выше выходные показатели оформляются с помощью подпрограммы STDOC в таблицы, приемлемые для пользователя:

параметры оптимальной структуры парка автотранспортных средств для транспортно-бытового обслуживания населения по каждому году исследуемого периода;

распределение автомобильного парка по видам транспортных услуг;

экономические показатели парка автотранспортных средств.

Объем программы 500 операторов, загрузочного модуля — 60 Кбайт. Требуемый объем оперативной памяти — 184 Кбайта.

Для работы программы необходимы следующие технические средства: ЭВМ СМ-4, работающая под управлением операционной системы ОС РВ версии 3,0; накопитель на магнитной ленте СМ 5300.01; видеотерминал ВТА 2000-30 СМ ЭВМ; печатающее устройство СМ 6315; накопитель на магнитном диске ЕС 5061 или ЕС 5400.

Отличительной особенностью данной программы по сравнению с ранее разработанными на базе последовательного анализа вариантов является возможность формирования структуры парка автотранспортных средств, периода планирования ее развития, марок и модификаций автомобилей, видов оказываемых автомобильным транспортом услуг, количества допустимых по экономическим и техническим требованиям состояний развития структуры парка, что представляет собой четырехмерное пространство исследования.

Для проверки работы программы STPARC произведен расчет контрольного примера оптимального развития струк-

туры парка автотранспортных средств для транспортной системы по обслуживанию населения ТЭП-13096 г. Киева (см. приложения 1, 2).

Расчет оптимальной структуры парка автотранспортных средств производится на основе совместного функционирования ТЭП системы ТСОН с грузовыми АТП Министерства транспорта УССР.

Как показала опытная эксплуатация, программа позволяет:

на основании заданной нормативно-справочной информации и данных по состояниям развития структуры парка автотранспортных средств формировать необходимую расчетную информацию, в том числе: доходы ТЭП соответственно состоянию развития системы ТСОН, капитальные вложения, необходимые для перехода из состояния развития структуры парка автотранспортных средств к другому состоянию, эксплуатационные затраты, необходимые для содержания выбранного состояния структуры парка автотранспортных средств;

производить расчет оптимальной последовательности развития структуры парка автотранспортных средств на заданный период планирования;

выдавать результаты расчета на АЦПУ в удобном виде для отраслевых специалистов;

осуществлять частичный анализ информации путем выдачи массива данных, относящихся к анализируемому документу.

Ограничения в применении программы STPARC определяются количеством: состояний структуры парка автотранспортных средств (не более 30), марок автомобилей (не более 26), видов услуг, оказываемых населению при перевозке грузов (не более 22), и лет, на которые рассчитывается последовательность развития структуры парка (не более 11).

На рис. 7 показана оптимальная траектория развития парка автотранспортных средств, необходимых для обслуживания населения при перевозке грузов на десятилетний период. Из 30 рассмотренных состояний выбрано 27. Для наиболее оптимального развития парка необходимо: наращивание мощности парка путем перехода из первого состояния в третье, далее — в седьмое, тринадцатое, семнадцатое, двадцать второе, двадцать четвертое и наконец — в двадцать седьмое.

Реализация определенных состояний структуры парка АС позволила определить ее несоответствие оптимальной.

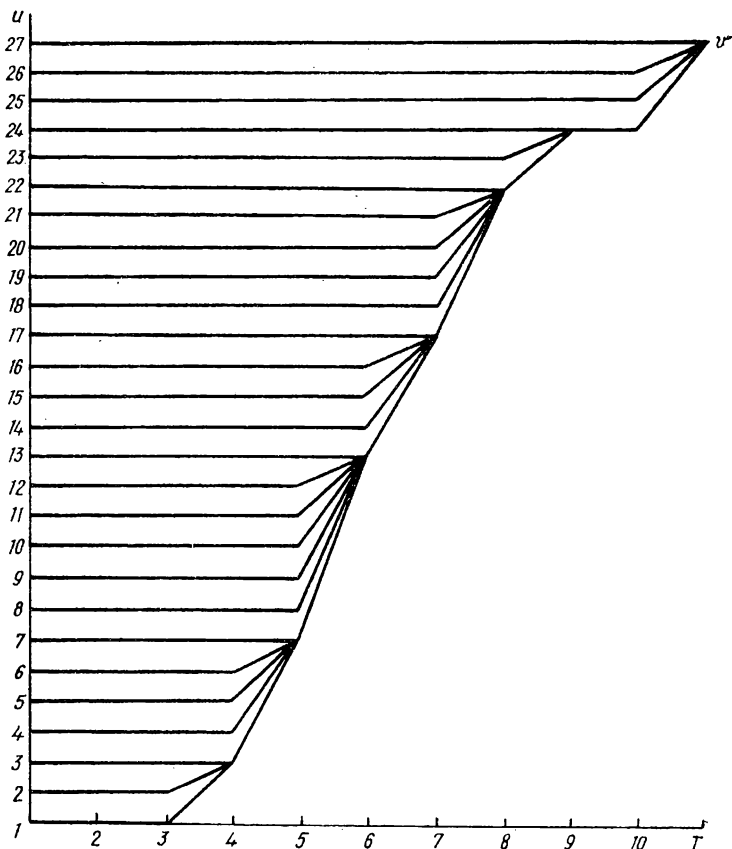


Рис. 7. Оптимальная траектория развития парка автотранспортных средств

При этом каждый достигнутый объем доходов  $\mathcal{D}_t$  определен конечным множеством допустимых альтернатив

$$x^m = \{x_{i1}^m, \dots, x_{iT}^m\}, \quad m \geq 2.$$

Доля ущерба ( $p_{it} = 0,0294 \div 0,015$ ) от невыполнения плана ТЭП по доходам, получаемым при выполнении транспортных услуг населения, уменьшилась в 1,9 раза. В то же время доходы ( $\mathcal{D}_{it} = 115,38 \div 245,18$  тыс. руб.) возросли в 2,45, а парк автомобилей — в 2 раза. Рассчитываемое значение ожидаемого ущерба от невыполнения плана ТЭП по доходам имеет социальную направленность, выраженную в уменьшении количества отказов в выполнении заявок на об-

служивание населения автомобильным транспортом, рассчитывается по формуле

$$\mu = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T p_{it} \mathcal{D}_{it},$$

где  $p_{it}$  — ожидаемая вероятность невыполнения ТЭП количества заявок на перевозку грузов в году  $t$  при принятом  $i$ -м состоянии структуры парка автотранспортных средств;  $\mathcal{D}_{it}$  — ожидаемый объем доходов от выполнения заявок соответствующей структурой парка автомобилей по состоянию в году  $t$ .

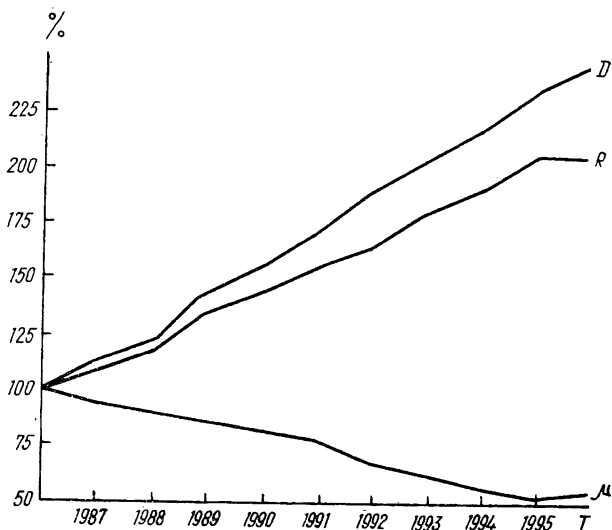


Рис. 8. Качественные зависимости показателей

Очевидно, отклонения в рассматриваемом периоде планирования развития от поставленных целей вызваны не только низким уровнем функционирования транспортной системы, но и особенностями процесса развития структуры парка автотранспортных средств.

Качественные зависимости, иллюстрирующие оптимизационный характер изложенной задачи, представлены на рис. 8.

Программа STPARC ориентирована на применение в составе программного обеспечения отраслевых АСУ, сходных с автомобильным транспортом по характеру и структуре управления, а также в ведомственных ВЦ и ВЦКП,



эксплуатирующих СМ ЭВМ. Программа универсальна, имеет модульную структуру, проста в эксплуатации, экономична по потребляемым ресурсам.

Отличительной особенностью данной программы по сравнению с ранее разработанными на базе последовательного анализа вариантов является возможность формирования структуры парка автотранспортных средств, зависящих от периода планирования ее развития, марок и модификаций автомобилей, видов оказываемых услуг автомобильным транспортом общего пользования, количества допустимых по экономическим и техническим требованиям состояний развития структуры парка автотранспортных средств, что представляет собой четырехмерное пространство исследования.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1.1. Структура парка в исходном году планирования

№ п/п	Тип автомобиля	Марка автомобиля	Грузо-подъемность, т	Количество	% по парку
<b>Бортовой</b>					
1		УАЗ-451ДМ	1,0	18	
2		УАЗ-451ДМ-ТАКСИ	1,0	7	
3		АВИА	3,0	11	
4		ГАЗ-52-04	2,5	23	
5		ГАЗ-52-04-ТАКСИ	2,5	7	
6		ЗИЛ-130-80	6,0	16	
7		ГАЗ-53А	4,0	24	
8		ГАЗ-53А-ТАКСИ	4,0	7	
9		ЗИЛ-130-80	6,0	10	
10		КАМАЗ-5320	8,0	3	
	<b>Всего</b>			<b>126</b>	<b>54,5</b>
<b>Фургон</b>					
1		ГАЗ-52-01-ГЗСА-893А	2,0	43	
2		ГАЗ-52-01-ГЗСА-891	2,0	3	
3		ИЖ-2715-01-014	1,0	4	
4		ЕРАЗ-7628	1,0	2	
5		ГАЗ-24-ПИКАП	1,0	3	
	<b>Всего</b>			<b>55</b>	<b>23,8</b>
<b>Автопоезд</b>					
1		ЗИЛ-13081-80 С ОДАЗ-885	8,0	1	
2		ЗИЛ-130-80 С ГКВ-817	11,5	17	
3		КАЗ-60881 С КАЗ-717	11,5	2	
4		ЗИЛ-13081-80 С ОДАЗ-885	8,0	1	
5		КАЗ-60881 С КАЗ-717	11,5	1	
	<b>Всего</b>			<b>23</b>	<b>10,0</b>
<b>Контейнер</b>					
1		ГАЗ-5206 С ЦКТБ-А-402	5,0	2	
	<b>Всего</b>			<b>2</b>	<b>0,9</b>

№ п/п	Тип автомобиля	Марка автомобиля	Грузо-подъемность, т	Количество	% по парку
	Самосвал				
1		ГАЗ-САЗ-3507	4,0	12	
2		ЗИЛ-МИЗ-4502	5,8	7	
3		МАЗ-5549	8,0	3	
4		КАМАЗ-5511	10,0	2	
5		КРАЗ-2566	12,0	1	
	Всего			25	10,8
	ВСЕГО				100,00

Таблица 1.2. Распределение автомобилей по видам транспортных услуг

№№ п/п	Вид услуг	Тип автомобиля	Марка автомобиля	Количество
1	Доставка из торговой сети на дом товаров хозяйственного обихода и культурно-бытового назначения	Бортовой	УАЗ-451ДМ	3
		»	УАЗ-451ДМ-ТАКСИ	3
		»	АВИА	1
		»	ГАЗ-52-04	2
		»	ГАЗ-52-04-ТАКСИ	2
		»	ГАЗ-53А	1
		»	ГАЗ-53А-ТАКСИ	2
		Фургон	ИЖ--2715-01-014	2
		»	ЕРАЗ-7628	2
		»	ГАЗ-24-ПИКАП	3
2	Доставка домашних вещей	Бортовой	УАЗ-451ДМ	8
		»	АВИА	6
		Фургон	ГАЗ-52-01-ГЗСА-893А	39
»	»	ГАЗ-52-01-ГЗСА-891	3	
3	Доставка багажа	Бортовой	ГАЗ-52-04	1
		»	ГАЗ-53А-ТАКСИ	1
4	Доставка из торговой сети госучреждений товаров хозяйственного обихода и культурно-бытового назначения	Бортовой	УАЗ-451ДМ	4
		»	УАЗ-451ДМ-ТАКСИ	2
		»	АВИА	1
		»	ГАЗ-52-04	3
		»	ГАЗ-52-04-ТАКСИ	1
		»	ГАЗ-53А	3
5	Доставка домашних вещей в контейнерах	Бортовой	ЗИЛ-130-80	5
		»	ГАЗ-53А	4
		Автопоезд	ЗИЛ-130-80 С ГКВ-817	4

№№ п/п	Вид услуг	Тип автомобиля	Марка автомобиля	Коли- чество
6	Доставка строймате- риалов насе- лению	Бортовой	УАЗ-451ДМ	2
		»	УАЗ-451ДМ-ТАКСИ	2
		»	АВИА	3
		»	ГАЗ-52-04	11
		»	ГАЗ-52-04-ТАКСИ	3
		»	ЗИЛ-130-80	9
		»	ГАЗ-53А	8
		»	ГАЗ-53А-ТАКСИ	2
		Автопоезд	ЗИЛ-130-80 С ГКВ-817	12
		»	КАЗ-60881 С КАЗ-717	1
7	Доставка топлива населению	Бортовой	ГАЗ-52-04	4
		»	ГАЗ-53А	2
		»	ГАЗ-53А-ТАКСИ	1
8	Доставка топлива гос- учрежде- ниям	Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	6
		Бортовой	ГАЗ-53А	2
8	Доставка топлива гос- учрежде- ниям	»	ГАЗ-53А-ТАКСИ	1
		Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	3
9	Погрузочно- разгрузочные работы с кон- тейнерами	Бортовой	ЗИЛ-130-80	2
		»	ГАЗ-53А	2
		Контейнер	ГАЗ-5206 С ЦКТБ-А-402	2
10	Доставка утилизиро- ванной теле- радиоаппа- ратуры, другой бытовой техники и макулатуры	Бортовой	УАЗ-451ДМ	1
		»	ГАЗ-52-04	2
		Фургон	ГАЗ-52-01-ГЗСА-893А	1
		»	ИЖ-2715-01-014	2
11	Доставка автомашин владельцам индиви- дуальных транспорт- ных средств	Фургон	ГАЗ-52-01-ГЗСА-893А	2
12	Доставка шлакоблоков	Бортовой	ГАЗ-52-01-ТАКСИ	1
		»	ГАЗ-53А	2
		Автопоезд	ЗИЛ-13081-80 С ОДАЗ-885	2
		»	ЗИЛ-130-80 С ГКВ-817	1
		»	КАЗ-60881 С КАЗ-717	1
13	Доставка грунта	Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	1
14	Доставка щебня	Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	1
15	Доставка удобрений	Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	1
16	Доставка топлива населению	Самосвал	ЗИЛ-ММЗ-4502	2

## Окончание табл. 1.2

№№ п/п	Вид услуг	Тип автомобиля	Марка автомобиля	Количество
17	Доставка топлива гос-учреждениям	Самосвал	ЗИЛ-ММЗ-4502	2
18	Доставка груза	Самосвал	ЗИЛ-ММЗ-4502	1
		»	МАЗ-5549	1
		»	КАМАЗ-5511	1
		»	КРАЗ-2565	1
19	Доставка щебня	Самосвал	ЗИЛ-ММЗ-4502	1
		»	МАЗ-5549	1
		»	КАМАЗ-5511	1
20	Доставка удобрений	Самосвал	ЗИЛ-ММЗ-4502	1
		»	МАЗ-5549	1
21	Доставка шлакоблоков	Автопоезд	ЗИЛ-13081-80 С ОДАЗ-885	1
22	Доставка стройматериалов населению	Бортовой	ЗИЛ-130-80	10
		»	КАМАЗ-5320	3
		Автопоезд	КАЗ-60881 С КАЗ-717	1

Таблица 1.3. Экономические показатели

№ п/п	Наименование	Значение	
1	Количество автомобилей—всего	231	
	В том числе		
	бортовых	126	
	фургонов	55	
	автопоездов	23	
	контейнеров самосвалов	2 25	
2	Капитальные вложения	0 тыс. руб.	
3	Эксплуатационные затраты	1592,89 тыс. руб.	
4	Доходы плановые	почасово	1695,30 тыс. руб.
		сдельно	275,40 тыс. руб.
5	Доходы расчетные	почасово	0,00 тыс. руб.
		сдельно	0,00 тыс. руб.
6	Выработка	почасово	2,97 руб.
		сдельно	3,80 руб.
		Размер ущерба	58,14 тыс. руб.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

**Таблица 2.1. Структура парка в последнем году планирования**

№ п/п	Тип автомобиля	Марка автомобиля	Грузо-подъемность, т	Количество	% по парку
<b>Бортовой</b>					
1		УАЗ-451ДМ	1,0	32	
2		УАЗ-451ДМ-ТАКСИ	1,0	10	
3		АВИА	3,0	18	
4		ГАЗ-52-04	2,5	34	
5		ГАЗ-52-04-ТАКСИ	2,5	8	
6		ЗИЛ-130-80	6,0	24	
7		ГАЗ-53А	4,0	35	
8		ГАЗ-53А-ТАКСИ	4,0	9	
9		ЗИЛ-130-80	6,0	15	
10		КАМАЗ-5320	8,0	7	
	<b>Всего:</b>			192	40,9
<b>Фургон</b>					
1		ГАЗ-52-01-ГЭСА-893А	2,0	94	
2		ГАЗ-52-01-ГЭСА-891	2,0	22	
3		ИЖ-2715-01-014	1,0	18	
4		ЕРАЗ-7628	1,0	10	
5		ГАЗ-24-ПИКАП	1,0	15	
	<b>Всего:</b>			159	33,9
<b>Автопоезд</b>					
1		ЗИЛ-13081-80 С ОДАЗ-885	8,0	7	
2		ЗИЛ-130-80 С ГКВ-817	11,5	38	
3		КАЗ-60881 С КАЗ-717	11,5	4	
4		ЗИЛ-13081-80 С ОДАЗ-885	8,0	5	
5		КАЗ-60881 С КАЗ-717	11,5	4	
	<b>Всего:</b>			58	12,4
<b>Контейнер</b>					
1		ГАЗ-5206 С ЦКТБ-А-402	5,0	5	
	<b>Всего:</b>			5	1,1

№ п/п	Тип автомобиля	Марка автомобиля	Грузо-подъемность, т	Количество	№ по парку
	Самосвал				
1		ГАЗ-САЗ-3507	4,0	31	
2		ЗИЛ-ММЗ-4502	5,8	13	
3		МАЗ-5549	8,0	5	
4		КАМАЗ-5511	10,0	4	
5		КРАЗ-2566	12,0	2	
	Всего:			55	11,7
Всего:					100,00

Таблица 2.2. Распределение автомобилей по видам транспортных услуг

№ № п/п	Вид услуг	Тип автомобиля	Марка автомобиля	Количество
1	Доставка из торговой сети на дом товаров хозяйственного обихода и культурно-бытового назначения	Бортовой	УАЗ-451ДМ	7
		»	УАЗ-451ДМ-ТАКСИ	4
		»	АВИА	1
		»	ГАЗ-52-04	2
		»	ГАЗ-52-04-ТАКСИ	2
		»	ГАЗ-53А	1
		»	ГАЗ-53А-ТАКСИ	2
		Фургон	ИЖ-2715-01-014	9
		»	ЕРАЗ-7628	10
		»	ГАЗ-24-ПИКАП	15
2	Доставка домашних вещей	Бортовой	УАЗ-451ДМ	14
		»	АВИА	11
		Фургон	ГАЗ-52-01-ГЗСА-893А	84
3	Доставка багажа	»	ГАЗ-52-01-ГЗСА-891	18
		Бортовой	ГАЗ-52-04	2
	со (на) станций, портов	»	ГАЗ-53А-ТАКСИ	2
4	Доставка из торговой сети гос-учреждений товаров хозяйственного обихода и культурно-бытового назначения	Бортовой	УАЗ-451ДМ	6
		»	УАЗ-451ДМ-ТАКСИ	3
		»	АВИА	2
		»	ГАЗ-52-04	5
		»	ГАЗ-52-04-ТАКСИ	1
		»	ГАЗ-53А	6
5	Доставка домашних вещей в контейнерах	Бортовой	ЗИЛ-130-80	9
		»	ГАЗ-53А	6
		Автопоезд	ЗИЛ-130-80 С КГВ-817	7

№ № п/п	Вид услуг	Тип автомобиля	Марка автомобиля	Коли- чество
6	Доставка строймате- риалов населению	Бортовой	УАЗ-451ДМ	2
		»	УАЗ-451ДМ-ТАКСИ	3
		»	АВИА	4
		»	ГАЗ-52-04	19
		»	ГАЗ-52-04-ТАКСИ	3
		»	ЗИЛ-130-80	12
		»	ГАЗ-53А	11
		»	ГАЗ-53А-ТАКСИ	2
7	Доставка топлива населению	Автопоезд	ЗИЛ-130-80 С ГКВ-817	28
		»	КАЗ-60881 С КАЗ-717	2
8	Доставка топлива гос- учрежде- ниями	Бортовой	ГАЗ-52-04	4
		»	ГАЗ-53А	3
		»	ГАЗ-53А-ТАКСИ	1
9	Погрузочно- разгрузоч- ные работы с контейне- рами	Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	16
		Бортовой	ГАЗ-53А	2
		»	ГАЗ-53А-ТАКСИ	2
10	Доставка утилизиро- ванной теле- радиоаппара- туры, другой бытовой техники и макулатуры	Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	9
		Бортовой	ЗИЛ-130-80	3
		»	ГАЗ-53А	3
11	Доставка автомашин владельцам индиви- дуальных транспорт- ных средств	Контейнер	ГАЗ-5206 С ЦКТБ-А-402	5
		»	ГАЗ-5206 С ЦКТБ-А-402	5
12	Доставка шлакоблоков	Бортовой	УАЗ-451ДМ	3
		»	ГАЗ-52-04	2
		Фургон	ГАЗ-52-01-ГЗСА-893А	8
13	Доставка грунта	»	ИЖ-2715-01-014	9
		»	ИЖ-2715-01-014	9
14	Доставка щебня	Фургон	ГАЗ-52-01-ГЗСА-893А	2
		»	ГАЗ-52-01-ГЗСА-891	4
15	Доставка удобрений	»	ГАЗ-52-01-ГЗСА-891	4
		Бортовой	ГАЗ-52-04-ТАКСИ	2
		»	ГАЗ-53А	3
		Автопоезд	ЗИЛ-13081-80 С ОДАЗ-885	7
16	Доставка удобрений	»	ЗИЛ-130-80 С ГКВ-817	3
		»	КАЗ-60881 С КАЗ-717	2
17	Доставка удобрений	Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	2
		Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	2
18	Доставка удобрений	Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	2
		Самосвал	ГАЗ-САЗ-3507	2



Окончание табл. 2.2

№№ п/п	Вид услуг	Тип автомобиля	Марка автомобиля	Кол-во штук
16	Доставка топлива населению	Самосвал	ЗИЛ-ММЗ.4502	8
17	Доставка топлива гос-учреждениям	Самосвал	ЗИЛ-ММЗ.4502	2
18	Доставка грунта	Самосвал	ЗИЛ-ММЗ.4502	2
		»	МАЗ-5549	2
		»	КАМАЗ-5511	2
19	Доставка щебня	Самосвал	ЗИЛ-ММЗ.4502	2
		»	МАЗ-5549	1
		»	КАМАЗ-5511	2
20	Доставка удобрений	Самосвал	ЗИЛ-ММЗ.4502	2
		»	МАЗ-5549	2
21	Доставка шлакоблоков	Автопоезд	ЗИЛ-13081-80 С ОДАЗ-885	5
22	Доставка стройматериалов населению	Бортовой	ЗИЛ-130-80	15
		»	КАМАЗ-5320	7
		Автопоезд	КАЗ-60881 С КАЗ-717	4

Таблица 2.3. Экономические показатели

№ п/п	Наименование	Значение
1	Количество автомобилей, всего	469
	В том числе:	
	бортовых	192
	фургонов	159
	автопоездов	58
	контейнеров	5
	самосвалов	55
2	Капитальные вложения	116 тыс. руб.
3	Эксплуатационные затраты	3242,73 тыс. руб.
4	Доходы плановые	
	почасово	4083,60 тыс. руб.
5	Доходы расчетные	
	сдельно	585,08 тыс. руб.
6	Выработка	
	почасово	3,53 руб.
7	Размер ущерба	
	сдельно	3,55 руб.
		142,18 тыс. руб.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Системный анализ и структура управления.*— М.: Знание, 1975.— 303 с.
2. *Садовский В. Н.* Системный подход и общая теория систем: статус, основные проблемы и перспективы развития // Системные исследования : Методол. пробл.— М.: Наука, 1980.— С. 29—54.
3. *Румянцев А. Н., Яковенко Е. Г., Янаев С. И.* Инструментарий экономической науки и практики.— М.: Знание, 1985.— 304 с.
4. *Общая теория систем.*— М.: Мир, 1966.— 186 с.
5. *Смехов Б. М.* Пределы точности народнохозяйственного оптимума // Экономика и мат. методы.— 1980.— 16, вып. 3.— С. 557—570.
6. *Тихомиров Н. Н.* Техничко-экономические изыскания и проектирование автотранспортных предприятий.— М.: Транспорт, 1973.— С. 154—169.
7. *Мельников Д. И., Шульман Л. А.* Критерии и оценки деятельности отраслей сферы услуг (на примере отрасли автотехобслуживания) // Вопр. экономики.— 1976.— № 7.— С. 84—94.
8. *Пчелинцев О. С.* Об экономической оценке свободного времени // Экономика и орг. пром. пр-ва.— 1976.— № 7.— С. 109—113.
9. *Шульман Л. А.* Проблемы экономико-математического моделирования в АСУ предприятий сферы обслуживания населения // Вопросы создания АСПР.— М.: ГВЦ Госплана СССР, 1976.— С. 101—115.
10. *Мовшович С. М., Овсиенко Ю. В.* Об определениях и применениях норматива эффективности капитальных вложений // Экономика и мат. методы.— 1977.— 13, вып. 4.— С. 631—647.
11. *Вопросы развития автомобильных транспортных средств.*— М.: Транспорт, 1978.— 206 с.
12. *Васильева Е. М.* Алгоритмы выбора оптимальных вариантов развития транспортной сети с учетом ресурсных ограничений // Вопр. совершенствования планир. развития трансп.— 1976.— № 60.— С. 18—41.
13. *Ковальская А. И.* Постановка задачи определения оптимальной структуры и численности грузового локомотивного парка с учетом плана формирования // Там же.— С. 84—90.
14. *Экономические проблемы развития транспорта.*— М.: Транспорт, 1982.— 231 с.
15. *Брайловский Н. О., Грановский Б. И.* Моделирование транспортных систем.— М.: Транспорт, 1978.— 128 с.
16. *Шорин В. Г.* Экономико-математические методы и модели планирования и управления.— М.: Знание, 1973.— 239 с.
17. *Артынов А. П., Ембулаев В. Н., Путьшев А. В., Скалецкий В. М.* Автоматизация управления транспортными системами.— М.: Наука, 1984.— 273 с.

18. *Лившиц В. Н. Экономико-математическое моделирование развития единой транспортной системы // Развитие транспортного комплекса.— М.: Наука, 1980.— С. 71—102.*
19. *Великанов Д. П., Бернацкий В. И., Бовава М. А. и др. Развитие автомобильных транспортных средств.— М.: Транспорт, 1984.— 120 с.*
20. *Бекмухамедов А. Ш. К методологии разработки рациональной структуры грузового автомобильного парка общего пользования на перспективу // Экономика и организация автомобильных перевозок.— Алма-Ата : КазНИПИАТ, 1982.— С. 58—66.*
21. *Якобашвили А. М., Омигский В. С. и др. Комплексный подход к совершенствованию развития парка автотранспортной организации // Автомобильный транспорт: Обзор. информ. Сер. «Важнейшие и науч.-техн. пробл.»— М.: ЦБНТИ Минавтотранспорта РСФСР, 1980.— Вып. 2.— 64 с.*
22. *Голованенко С. Л., Губин В. А., Голобородкин Б. М. и др. Эффективность использования материально-технической базы автотранспорта — Киев: Вища шк., 1986.— 144 с.*
23. *Совершенствование хозяйственного механизма, система прогрессивных технико-экономических норм и нормативов.— М.: Правда, 1986.— 319 с.*
24. *Эффективность использования материально-технической базы автомобильного транспорта.— Харьков: Вища шк. Изд-во при ХГУ, 1986.— 144 с.*
25. *Корнев Ю. Н., Луцкер Г. Д., Редькина Н. Ф. и др. Оптимизация структуры грузового автомобильного парка.— Киев: УкрНИИНТИ, 1979.— 44 с.*
26. *Голованенко С. Л., Жарова О. М. Рентабельность автотранспорта в строительстве.— Киев: Будівельник, 1977.— 140 с.*
27. *Тихомиров Е. Ф., Шаталин А. С. Простейшая модель оптимизации величины и структуры автомобильного парка: Экономическая интерпретация и возможности использования двойственных оценок // Совершенствование управления автомобильным транспортом.— М.: МАДИ, 1976.— С. 54—72.*
28. *Шевчук А. В. Методы и модели оптимизации обновления парка машин // Автомобильный транспорт и дороги.— 1975.— Вып. 2.— С. 135—144.*
29. *Кожневская И. А. Теория обновления основных фондов и рекуррентные уравнения.— М.: Статистика, 1971.— 271 с.*
30. *Луйк И. А. Теоретические основы планирования технической эксплуатации машинного парка.— Киев: Вища шк., 1976.— 144 с.*
31. *Галушко В. Г. Случайные процессы и их применение на автотранспорте.— Киев: Вища шк., 1980.— 271 с.*
32. *Маров О. И. О методике прогнозирования рациональной численности и структуры автомобильного парка по группам грузоподъемности автомобилей в условиях ОАСУ «Автотранспорт» // Новая техника и прогрессивная технология на автомобильном транспорте.— Минск: БелНИИАТ, 1979.— С. 48—59.*
33. *Левитин Е. С., Поносов Ю. К. Система моделей оптимизации производственной структуры грузового автомобильного транспорта общего пользования // Проблемы функционирования и развития инфраструктуры народного хозяйства.— М.: ВНИИСИ АН СССР, 1982.— С. 123—136.*
34. *Глушков В. М. Основы безбумажной информатики.— М.: Наука, 1987.— 552 с.*
35. *Вавилов А. А., Фомин Б. Ф., Аврамчук Е. Ф. Системное моделирование: Теория сложных систем и методы их моделирования.— М.: ВНИИСИ АН СССР, 1982.— С. 41—50.*

36. Михалевиц В. С. Последовательные алгоритмы оптимизации и их применение // Кибернетика.— 1965.— № 1.— С. 45—55; № 2.— С. 85—89.
37. Михалевиц В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем.— М.: Наука, 1982.— 287 с.
38. Ляхно Р. П., Корольков Ю. А. Основные методические положения по выбору рационального состава грузового автотранспортного парка страны на перспективу.— М.: НАМИ, 1974.— Вып. 142.— С. 8—49.
39. Панов С. А., Поляк А. М., Поносков Ю. К. Оптимизация развития парка и размещения АТП // Автомоб. трансп.— 1982.— № 2.— С. 44—45.
40. Панов С. А., Поносков Ю. К. Реализация задач оптимальной дислокации подвижного состава автотранспорта в крупных городах // Экономика и мат. методы.— 1982.— 18, Вып. 3.— С. 465—472.
41. Панов С. А., Поляк А. М., Поносков Ю. К. Управление грузовыми перевозками.— М.: Транспорт, 1979.— 127 с.
42. Ермольев Ю. М. Методы стохастического программирования.— М.: Наука, 1976.— 240 с.
43. Бажан Л. И. Об одном подходе к построению моделей оптимизации структуры парка автотранспортных средств для транспортно-бытового обслуживания населения // Экономико-математический анализ и моделирование систем.— Киев: Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова АН УССР, 1987.— С. 35—40.
44. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки.— Киев: Вища шк., 1986.— 447 с.
45. Бакаев А. А., Бажан Л. И. Моделирование развития системы транспортно-бытового обслуживания населения в крупном регионе.— Киев, 1989.— 15 с.— (Препр./АН УССР. Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова; 89—1).
46. Белоконенко В. А. Экономическое обоснование форм воспроизводства ОПФ при оценке эффективности направлений капитальных вложений и основных фондов в народном хозяйстве Украинской ССР.— Киев: ЭНИИ Госплана УССР, 1977.— С. 154—160.
47. Сметов Б. М. Планирование капитальных вложений.— М.: Госплан-издат, 1961.— 334 с.
48. Давидович Л. Н. Проектирование предприятий автомобильного транспорта.— М.: Транспорт, 1975.— 396 с.
49. Вовша П. С., Левитин Е. С., Панов С. А. Проблемы концентрации грузового автомобильного транспорта.— М.: Транспорт, 1987.— 164 с.
50. Романова Л. П., Иванов В. Н., Семикин Н. В. Гарантированные перевозки грузов автомобильным транспортом общего пользования.— М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1979.— 52 с.
51. Шустов А. С., Борковой В. Н., Субботин А. С. Повышение качества перевозок грузов автомобильным транспортом.— М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1976.— 38 с.
52. Иванов Е. А., Майминас Е. З. Проблемы резервов в планировании // Экономика и мат. методы.— 1981.— 17, вып. 3.— С. 456—473.
53. Канторович Л. В., Паенсон Н. В. Транспорт в системе народного хозяйства (планово-экономические проблемы) // Развитие транспортного комплекса.— М.: Наука, 1980.— С. 5—48.
54. Половинкин П. Д. Резервные фонды в социалистическом производстве (вопросы теории и методологии).— М.: Экономика, 1979.— 136 с.
55. Кваша Я. Б. Резервные мощности.— М.: Наука, 1971.— 216 с.

56. Тихомиров В. Ф. Тарифы, цены и сравнительная эффективность // Экономика и орг. пром. пр-ва.— 1981.— № 4.— С. 52—56.
57. Математика и кибернетика в экономике: Слов.-справ. М.: Экономика, 1975.— 700 с.
58. Смирнов В. А., Герчиков С. В., Соколов В. Г. Оценка надежности и маневренных качеств плана.— М.: Наука, 1978.— 318 с.
59. Планирование отраслевых систем.— М.: Экономика, 1974.— 298 с.
60. Макаров В. Л., Перминов С. Б. О некоторых аспектах моделирования процесса выполнения плана // Экономика и мат. методы.— 1978.— 14, вып. 2.— С. 235—247.
61. Перминов С. Б. Оценка качества плана с помощью машинной имитации процесса его реализации // Там же.— 1983.— 19, вып. 5.— С. 857—867.
62. Проселков Л. С., Соколов В. Г. Формирование адаптивного плана реализации целевой экономической программы на сети // Модели и методы решения задач взаимодействия экономических систем. Сер. Мат. анализ экон. моделей.— Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние АН СССР, 1982.— С. 74—86.
63. Зейлигер А. Н., Макаров А. А., Санеев В. Г. Принципы и эвристические методы адаптации экономических систем в условиях неопределенности (на примере энергетики) // Экономика и мат. методы.— 1974.— 10, вып. 3.— С. 521—536.
64. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. Л., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности.— М.: Наука, 1965.— 238 с.
65. Райкин А. А. Элементы теории надежности технических систем.— М.: Сов. радио, 1978.— 280 с.
66. Коваленко И. Н. Исследования по анализу надежности сложных систем.— Киев: Наук. думка, 1976.— 210 с.
67. Заенчик Л. Г., Артеменко А. Н., Могила В. П. и др. Целевая комплексная программа управления транспортным процессом.— Киев: Техніка, 1984.— 127 с.
68. Заставнюк А. Г., Четвертков Н. А., Шкильняк Е. П. Система управления качеством перевозок грузов и ее технико-экономическое обоснование.— Киев: Знание, 1980.— 21 с.
69. Сандлер Д. Техника надежности систем.— М.: Наука, 1966.— 300 с.
70. Зайцев Н. Г. Принципы информационного обеспечения в системах переработки информации и управления.— Киев: Наук. думка, 1976.— 181 с.
71. Энциклопедия кибернетики.— Киев: УСЭС, 1974.— Т. 1.— 607 с.
72. Информационное обеспечение систем управления предприятиями железнодорожного транспорта.— М.: Транспорт, 1980.— 168 с.
73. Куприянов А. В., Дорошенко А. В., Гиренко С. Л. и др. Опыт создания и внедрения АСУ в сфере бытового обслуживания населения УССР.— Киев: УкрНИИНТИ, 1977.— 60 с.
74. Бернацкий Ф. И., Сатаев А. Г. Программный моделирующий комплекс для синтеза алгоритмов управления технологическими процессами: принципы построения, основные подсистемы.— Владивосток, 1985.— 40 с.— (Препр. / ИАПУ ДВНЦ АН СССР).
75. Артынов А. П., Кондратьев Г. А. Программный моделирующий комплекс для исследования транспортных систем: структура и модели объекта управления.— Владивосток, 1988.— 35 с.— (Препр. / ИАПУ ДВО АН СССР).

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
<b>Глава 1. Общие принципы экономико-математического моделирования развития транспортных систем</b>	<b>6</b>
1.1. Основные функции транспортной системы по обслуживанию населения	6
1.2. Критерий эффективности развития транспортной системы по обслуживанию населения	14
1.3. Краткий обзор экономико-математических моделей развития транспортных систем	17
1.4. Технология системного моделирования — основа повышения эффективности планирования развития транспортной системы по обслуживанию населения	28
<b>Глава 2. Моделирование процессов развития транспортных систем по обслуживанию населения</b>	<b>33</b>
2.1. Основные подходы к созданию математических моделей развития транспортных систем по обслуживанию населения	33
2.2. Математическая модель развития транспортной системы по обслуживанию населения и метод ее реализации	35
2.3. Оптимизация параметров развития транспортной системы по обслуживанию населения с учетом неопределенности информации	40
2.4. Оптимизация развития производственной базы транспортной системы по обслуживанию населения	53
2.5. Оптимизация использования автотранспортных средств в системе по обслуживанию населения	61
<b>Глава 3. Моделирование процессов развития и функционирования транспортной системы по обслуживанию населения с учетом качественных характеристик перевозочного процесса</b>	<b>72</b>
3.1. Анализ плана транспортного обслуживания населения при перевозке грузов с учетом его эластичности	72
3.2. Качественные характеристики допустимых вариантов плана развития и функционирования транспортной системы по обслуживанию населения в регионе	81
3.3. Моделирование надежности плана использования автотранспортных средств	88

<b>Глава 4. Информационное моделирование процессов развития транспортных систем</b>	100*
4.1. Транспортная система как информационный объект	100*
4.2. Формирование исходной информации задачи развития транспортной системы по обслуживанию населения	108
4.3. Технологии обработки информации	112
<b>Глава 5. Реализация алгоритма оптимизации развития транспортной системы по обслуживанию населения</b>	116
5.1. Определение основных параметров модели оптимизации структуры парка автотранспортных средств для транспортно бытового обслуживания населения региона	116
5.2. Алгоритмические схемы реализации класса задач перспективного развития транспортной системы по обслуживанию населения	122
5.3. Программная реализация задачи оптимизации структуры парка автотранспортных средств	128
<b>Приложение I</b>	138
<b>Приложение II</b>	143
<b>Список литературы</b>	146

Научное издание

Бакаев Александр Александрович  
Гриценко Владимир Ильич  
Бажан Людмила Ивановна  
Попченко Валентина Ивановна

**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
РАЗВИТИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ  
СИСТЕМ**

Художественный редактор *И. П. Антонюк*  
Технический редактор *А. М. Капустина*  
Корректоры *М. Т. Кравчук, Е. А. Михалец,*  
*Л. М. Тищенко*

**ИБ № 11539**

Сдано в набор 04.03.91. Подп. в печать 18.09.91. Формат 84x108/32. Бум. тип. № 2. Лит. гарн. Выс. печ. Усл. печ. л. 7,98. Усл. кр.-отт. 8 3. Уч.-изд. л. 9,1. Тираж 500 экз. Заказ 1-95. Цена 2 р. 70 к.

Издательство «Наукова думка».  
252601 Киев 4, ул. Репина, 3.

Отпечатано с матриц книжной фабрики имени М. В. Фрунзе, 310057, Харьков-57 в Жовковской городской типографии 292310, Жовква, Львовской обл., ул. Василянская, 8. Зак. 2600.