

656.21  
Н 418

1 экз.

✓

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА  
И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
ИМ. АКАДЕМИКА В. Н. ОБРАЗЦОВА

---

*На правах рукописи*

НЕГРЕЙ Виктор Яковлевич

УДК 656.21(043.3)

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

05.22.08 — Эксплуатация железнодорожного транспорта  
(включая устройства сигнализации, централизации,  
блокировки и технологической связи)

08.00.23 — Экономика, планирование и организация  
управления транспортом и связью

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Ленинград · 1987

✓



Работа выполнена в Белорусском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Официальные оппоненты — доктор технических наук,  
профессор **В. М. Акулиничев**,  
доктор технических наук,  
профессор **Н. И. Федотов**,  
доктор технических наук,  
профессор **В. Е. Козлов**.

Ведущее предприятие — Государственный проектно-изыскательский институт «Киевгипротранс».

Защита диссертации состоится «*18*» *июня* . . . 1987 г.  
в *13.30* час. на заседании специализированного совета по присуждению ученых степеней Д 114.03.03 при Ленинградском ордена Ленина и ордена Октябрьской Революции институте инженеров железнодорожного транспорта имени академика В. Н. Образцова по адресу:

190031, Ленинград, Московский пр., 9, ауд. *7-320* . . .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта.

Автореферат разослан «*13*» *мая* . . . 1987 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук

**В. Б. Культин**



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Выдвинутая XXVII съездом КПСС программа развития народного хозяйства предполагает перевод экономики на интенсивный путь развития, техническое перевооружение базовых отраслей, в том числе и железнодорожного транспорта. Решение задач, поставленных перед железнодорожным транспортом, предусматривает неуклонное повышение эффективности транспортного обслуживания народного хозяйства, рациональное использование созданного производственного потенциала. Одним из необходимых условий интенсификации работы железнодорожного транспорта является реализация долгосрочной программы развития железнодорожных станций и узлов, призванной существенно повысить эффективность их функционирования, ускорить процесс обработки вагонов. Сокращение простоя вагонов на станциях только на 1 ч позволяет уменьшить стоимость перевозимых материальных ценностей почти на 78 млн рублей, отдалить капитальные вложения на строительство новых вагонов и локомотивов на сумму 27 млн рублей и увеличить перевозочную мощность сети на 20 млн т в год.

С развитием экономики страны, повышением благосостояния народа непрерывно увеличиваются размеры пассажирских перевозок. На конец 12-й пятилетки пассажирооборот железнодорожного транспорта достигнет 410 млрд пас. · км. Поэтому сокращение продолжительности поездки только на 1% эквивалентно экономии в размере свыше 20 млн рублей.

Железнодорожные станции и узлы оказывают решающее влияние на бесперебойный пропуск поездопотоков. Анализ работы железнодорожных направлений показывает, что свыше 70% «узких» мест связано с развитием железнодорожных станций и узлов. В результате не удается реализовать высокие уровни пропускной способности перегонов. Некоторые двухпутные линии загружены только на 40—45%, капитальные вложения, израсходованные на их строительство, используются неэффективно. Поэтому повышение уровня использования пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных станций и узлов, совершенствование их структурных схем, устранение диспропорций в развитии, а также оптимальное использование капитальных вложений, выделяемых на реконструкцию и строительство станций, — актуальная проблема эксплуатации железнодорожного транспорта.

1998



**Цель исследования** — разработка основ общей теории прогнозирования потребной и наличной мощностей железнодорожных станций и узлов, оптимизация параметров технического оснащения, совершенствование схем и технологии работы станций, разработка практических рекомендаций по совершенствованию методов расчета и рационального развития пропускной и провозной способности станций и узлов в составе долговременной программы развития железнодорожного транспорта.

**Общий методический подход** к решению поставленной задачи состоит в использовании достижений общей теории транспортных систем, экономического анализа, методов прогнозирования, приемов и методов теории массового обслуживания, динамического программирования, моделирования, теории колебаний транспортных потоков.

Диссертация обобщает опыт расчетов и проектирования железнодорожных станций и узлов, авторскую статистику по важнейшим станциям сети за последние 15—20 лет. Используются материалы экспериментального масштабного проектирования станций по вариантам схем. Разработанные на основе общих идей и теорий методы расчета технического оснащения железнодорожных станций и узлов доведены до стадии практического внедрения.

**Научная новизна** результатов, полученных в диссертационной работе, заключается в следующих основных положениях:

1. Обоснована необходимость системных исследований железнодорожных станций и узлов и показана принципиальная ограниченность существующих методов, в частности, для расчета потребной и наличной пропускной способности, транспортных нагрузок, путевого развития и других параметров технического оснащения, технико-экономических показателей вариантов проектных решений.

2. Разработаны теоретические основы прогнозирования транспортных нагрузок, доказана целесообразность использования для прогноза размеров работы железнодорожных станций и узлов математических моделей оптимальной сложности, показана их индивидуальность и временная изменчивость, разработаны пути перехода к адапционному прогнозу.

3. Предложен новый метод оценки колебаний транспортных потоков, основанный на использовании реальных критериев работы железнодорожных станций и узлов. Доказано, что реальные транспортные системы менее чувствительны к изменениям в потоках, чем известные критерии согласия Пирсона, Романовского, Колмагорова и др.



4. Разработаны научные основы корреляционной теории колебаний транспортных потоков, обоснована необходимость использования новых аналитических зависимостей для расчета колебаний размеров работы и потребной перерабатывающей способности железнодорожных станций и узлов.

5. Созданы теоретические основы расчета наличной и потребной перерабатывающей способности станций на основе вероятностных моделей, позволяющие оценить влияние ошибок прогнозирования объемов работы и колебаний технологических параметров на выбор оптимального технического оснащения железнодорожных станций и узлов.

6. Составлены рациональные схемы сортировочных станций повышенной производительности для различных условий эксплуатации и сформулированы требования к их техническому оснащению при переходе к новой технологии, связанной с обращением длинносоставных поездов.

7. Предложена и исследована математическая модель поэтапного развития станций и узлов, доказана необходимость совершенствования методики технико-экономического сравнения вариантов проектных решений, сформулированы проблемы дальнейшего развития железнодорожных станций и узлов.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается:

— масштабностью статистических данных о режимах работы железнодорожных станций и узлов (обследовано более 200 станций), транспортных нагрузках;

— применением современной методологии исследований, методов математического моделирования, проверкой адекватности моделей с помощью статистических и экономических критериев;

— экспериментальной проверкой и практической реализацией полученных результатов на сети железных дорог, в проектных и научно-исследовательских институтах, полученным экономическим эффектом;

— использованием положений диссертации в «Инструктивных указаниях по этапному развитию сортировочных станций и планированию потребных для этого капитальных вложений».

Правомерность, корректность постановок задач и принятых допущений подтверждаются результатами внедрений и публикациями в открытой печати.

**Практическое значение результатов.** Проведенные исследования, эмпирические зависимости и обобщения, рекомендации по расчетам железнодорожных станций и узлов, включая оптимизацию поэтапного развития, применены при подготовке инструктивных указаний, при решении перспективных вопросов развития железнодорожных узлов Белорусской железной дороги, в норматив-



ных и справочных материалах отраслевых институтов, при проектировании и расчетах устройств, составлении и выборе схем станций и узлов.

**Апробация работы.** Основные результаты реализованы при разработке генеральных схем развития железнодорожных узлов Белорусской железной дороги, долгосрочной программы развития транспортной системы Гомельской области.

Методы расчета поэтапного развития станций включены в отраслевые инструктивные указания. Результаты исследований и рекомендаций по расчету технического оснащения пассажирских станций использованы в методических указаниях Киевгипротранса, а научные и практические результаты по прогнозированию транспортных нагрузок — институтом Гипротранстэи.

Основные положения диссертации рассматривались и получили одобрение:

на Всесоюзной научно-технической конференции по автоматизации управления городским пассажирским транспортом (Ленинград, 1972); Всесоюзной научно-технической конференции ВСНТО о проблемах развития и повышения эффективности транспортной системы страны (Москва, 1979); Всесоюзной научно-технической конференции «Пути совершенствования перевозочного процесса и управления транспортом» (Гомель, 1985); на общесетевой научно-технической конференции по проблеме совершенствования проектирования и использования устройств железнодорожных и промышленных узлов (Москва, 1975); на X, XII Всесоюзных научно-технических совещаниях по вопросам проектирования железнодорожных узлов и станций (1980, 1984); на республиканской научно-технической конференции по проблемам преобразования городской среды (Минск, 1973); на II республиканской научно-практической конференции «Региональные проблемы развития транспортной системы Украинской ССР» (Киев, 1985); на научно-технических конференциях кафедр БелИИЖТа и ДорНТО Белорусской железной дороги (1979, 1980).

Основные положения теории расчетов железнодорожных станций и узлов внедрены в учебный процесс. Автором написаны главы по расчету железнодорожных станций в учебных пособиях для вузов МПС, в которых отражены практические результаты выполненного исследования (Н. В. Правдин, Т. С. Банек, В. Я. Негрей. Проектирование железнодорожных станций и узлов. — Мн.: Выш. школа, 1984. Ч. 1.—288 с.; Ч. 2.—200 с.; Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты).—2-е изд. — М.: Транспорт, 1984.—296 с.; Н. В. Правдин, В. Я. Негрей. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах. — 2-е изд. — Мн.: Выш. школа, 1983.—247 с.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано более 50 работ общим объемом около 58 авторских листов, в том числе две монографии (в соавторстве) и три учебных пособия (в соавторстве) для вузов по специальности 05.22.08.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, одиннадцати глав, объединенных в два раздела, выводов, списка литературы, включающего 192 наименования, и приложения. Общий объем составляет 397 страниц, в том числе 300 страниц текста, 73 рисунка и 49 таблиц. Приложение содержит 63 страницы.



## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Введение

Во введении приводятся краткое аннотированное обоснование важности выбранной темы, постановка задачи и определение цели исследования, перечень положений, выносимых на защиту.

Разработке научных основ развития железнодорожных станций и узлов посвящены работы В. Н. Образцова, В. М. Акулиничева, Е. В. Архангельского, П. В. Бартенева, П. С. Грунтова, А. М. Долаберидзе, С. В. Земблинова, В. Д. Никитина, Н. В. Правдина, В. А. Персианова, И. Е. Савченко, Н. К. Сологуба, К. Ю. Скалова, Е. А. Сотникова, И. Б. Сотникова, К. К. Таля, И. Г. Тихомирова, Н. И. Федотова, Н. Н. Шабалина, Н. Р. Ющенко и их учеников.

Большой вклад в развитие теории эксплуатации станций и узлов, технико-экономического сравнения вариантов проектных решений, прогнозирования транспортных нагрузок и оценки их колебаний внесли А. П. Абрамов, Н. Н. Барков, К. А. Бернгард, В. Я. Болотный, В. А. Буянов, А. В. Быкадоров, А. Е. Гибшман, В. А. Дмитриев, Ю. В. Дьяков, А. Г. Захаров, Б. С. Козин, В. Е. Козлов, И. Т. Козлов, Ф. П. Кочнев, В. А. Кудрявцев, А. М. Макаровичин, К. К. Тихонов, Е. М. Тишкин, Л. П. Тулупов, А. К. Угрюмов, В. П. Ярошевич и другие.

Анализ выполненных исследований показал, что многообразие условий функционирования железнодорожных станций и узлов, выбор путей их развития оказались изученными в недостаточной мере. Поэтому требуется дальнейшее развитие научных основ расчета и проектирования железнодорожных станций и узлов.

Основные цели исследования:

— разработка научных основ расчета потребной и наличной перерабатывающей способности железнодорожных станций с учетом ошибок прогноза перспективных размеров работы и случайных колебаний технологических параметров обслуживания подвижного состава;

— исследование случайных колебаний транспортных потоков, разработка нового подхода к выбору теоретических моделей неравномерности перевозок на основе реальных критериев работы станций и узлов, выявлению влияния сезонных и других факторов на показатели работы транспортных систем;

— синтез схем сортировочных станций повышенной производительности и ориентированных на расформирование-формирование поездов повышенной массы и длины;



— разработка методов решения оптимизационных задач поэтапного развития перерабатывающей способности железнодорожных узлов и станций и внедрение их в практику проектирования.

## Раздел I. ТРАНСПОРТНЫЕ ПОТОКИ

### 1. Основные принципы теории и практики долгосрочного прогнозирования транспортных потоков на железнодорожном транспорте

Важнейшую роль в выполнении грузовых и пассажирских перевозок играют железнодорожные узлы и станции как элементы единой транспортной системы. Поэтому развитие и совершенствование структурных схем узлов, грузовых, сортировочных, участковых и пассажирских станций, сооружение новых станций в увязке с планировкой городов относятся к числу важнейших мероприятий, обеспечивающих освоение непрерывно растущих размеров пассажирского и грузового движения на железных дорогах СССР.

Решение поставленной задачи во многом определяется совершенством системы прогнозирования объемов работы железнодорожных узлов и станций, так как именно на их основе принимаются проектные решения по развитию перерабатывающей способности сортировочных, грузовых, пассажирских и других станций.

В настоящее время, как никогда раньше, возросла актуальность прогнозирования. Этот процесс вызван:

— повышением интенсивности и динамичности работы станций;

— сокращением продолжительности периода от создания технической системы (ГАЦ, КРУГ, ТГЛ, замедлители и др.) до снятия ее с эксплуатации. Поэтому ошибки прогнозов потребности в таких системах, которые связаны с ошибками прогноза объемов работы станций, приводят к неоправданной затрате средств;

— ростом затрат на строительство большинства элементов железнодорожного узла. Анализ показал, что стоимость строительства станций возрастает на 1,2—2,5% в год, такими же темпами растет и стоимость подвижного состава. В связи с этим потери от реализации генеральных схем развития узлов, не удовлетворяющих действительным размерам работы, существенно возросли;

— большой продолжительностью реализационного цикла, который для железнодорожных станций равен 9—20 годам.

Особую значимость повышение точности прогнозирования имеет для определения потребной мощности сортировочных устройств



и путевого развития станций, расчет которых в соответствии со СНиП II-39-76 следует вести в зависимости от размеров и характера перерабатываемого вагонопотока на пятый, а для сортировочных горок на десятый год эксплуатации. Другими словами, для расчета мощности технических систем станций период упреждения прогноза должен составлять 17—25 лет. В инженерной практике, а также в действующих методических и инструктивных указаниях это требование не соблюдается, в связи с чем проектируемые станции уже к моменту их пуска не удовлетворяют действительным объемам работы.

Анализ современной методологии прогнозирования объемов работы железнодорожных станций и практики расчета их технического оснащения позволил установить, что:

неопределенность характеристик транспортных потоков превращает проблему принятия решений по развитию узлов в один из центральных. Методы расчета параметров транспортных систем с учетом неопределенности прогнозов не получили должного развития в теории и инженерной практике, исходят из нереального предположения о точном совпадении действительных и прогнозных объемов работы;

расчет взаимодействующих подсистем железнодорожных узлов (например, устройств станционного и локомотивного хозяйств) выполняется при разных уровнях надежности прогноза, в результате чего неизбежно возникают «узкие» места;

объективные условия развития экономики в отдельных регионах страны (районный фактор), структура, формы организации потоков и другие причины (сезонная составляющая колебаний, исторически сложившаяся схема размещения станций и узлов) приводят к тому, что при одних и тех же среднесуточных размерах движения поездов их расчетные значения существенно отличаются на разных станциях. В таких условиях особого внимания заслуживает проблема распределения ограниченных ресурсов между станциями и узлами при их развитии;

основным направлением развития теории и практики расчетов перспективных объемов работы железнодорожных узлов и станций является использование принципов самоорганизации и построение прогнозных моделей оптимальной сложности, учитывающих опережающий темп роста объемов материального производства и перевозок по отношению к демографическому росту населения, продолжающийся процесс урбанизации, увеличение единичной мощности промышленных предприятий, формирование новых транспортно-экономических связей, внедрение достижений научно-технического прогресса.



## 2. Прогнозирование транспортных потоков методами корреляционного и регрессивного анализов

Для ряда практических ситуаций прогноз транспортных потоков может выполняться методами парной и множественной корреляции с помощью зависимостей

$$y = b_0 + b_1 x; \quad y = b_0 b^{x_1}; \quad y = b_0 x^{b_1};$$

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^n b_j x_j; \quad y = b_0 x_1^{b_1} x_2^{b_2}, \dots, x_n^{b_n};$$

$$y = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + b_{11} x_1^2 + b_{12} x_2^2 + \dots + b_{nn} x_n^2,$$

где  $x_j$  — фактор, от которого зависит прогнозная величина;  $b_0, b_j$  — неизвестные коэффициенты, значения которых определяются методом наименьших квадратов.

Анализ прогнозов, выполненных методами корреляционного и регрессивного анализов, позволил установить, что их целесообразно использовать для предварительной оценки влияния отдельных факторов на величину потока, а также для установления простейших зависимостей между темпом роста объемов работы и факторами, включенными в модель. Хорошие результаты дает использование указанных методов для прогнозов с периодом упреждения до 5 лет;

с повышением ранга системы (станция, узел, полигон, сеть) и однородности потоков увеличивается устойчивость коэффициентов регрессии и относительная степень точности прогнозов, которая измеряется коэффициентом несоответствия

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{пi} - y_{дi})^2} / \left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{пi}^2} + \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{дi}^2} \right),$$

где  $y_{пi}, y_{дi}$  — соответственно прогнозное и действительное значения потока в  $i$ -й точке.

Важные практические результаты получены с помощью корреляционных функций и авторегрессионных моделей. Расчеты позволили показать, что:

временная структура транспортных потоков зависит от региона страны, что исключает в общем виде решение задачи прогноза объемов работы железнодорожных станций и узлов;

значительная степень связности характерна для пассажиропотоков, обслуживаемых станциями, расположенными на территории УССР, РСФСР, БССР; средний уровень связности имеют транспортные объекты на территории Латвийской и Литовской



ССР; в отдельную группу, с гораздо меньшей степенью связности, выделяются остальные республики. Период корреляции изменяется от 4 до 15 лет;

дальние и местные пассажиропотоки имеют более тонкую структуру, чем пригородные, и меньшую продолжительность периода корреляции (до 5 лет);

для грузовых потоков закономерности аналогичны. Кроме того, наибольшая степень связности (продолжительность периода корреляции 15 лет и более) характерна для потоков каменного угля, нефтяных грузов, черных металлов, руды, минерально-строительных материалов, что позволяет использовать для их прогноза более простые модели;

для потоков, обслуживаемых сортировочными станциями, степень связности наибольшая для станций, расположенных в Центральном, Белорусском и Прибалтийском экономическом районах, наименьшая — в Восточно-Сибирском, Западно-Сибирском, Казахстанском.

### 3. Адаптивный метод прогнозирования

Для проектирования в зависимости от цели и уровня необходимы прогнозы на 5—20 лет.

Задача решается, если для заданного  $t > t_0$  определяются проектные показатели

$$W = \{U\} \times \{C\} \times \{N\} \times \{П\},$$

где  $U$  — величины потоков;  $C$  — стоимостные данные;  $N$  — численность работников;  $П$  — проектные данные.

Введем меру  $f$  взаимодействия элементов  $Z \in W$  и через  $Z_1$  обозначим количество элементов, мера взаимодействия которых имеет наибольший порядок  $f(Z_1)$ . При количестве элементов  $Z_i$ , мера взаимодействия  $f(Z_i)$  которых на порядок ниже  $f(Z_{i-1})$ , может быть образована система, характеризующаяся функционалом

$$S = [f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_k), x_1, x_2, \dots, x_n].$$

Изменяя порядок  $k (k < n)$ , будем получать различные системы. Такой подход (идти от целого к частям) дает возможность формировать подсистемы, которые, с одной стороны, определяются транспортными нагрузками, а с другой, — набором объектов.

Определение показателей матрицы  $W$  или ее строк для момента  $t$  целесообразно выполнять с помощью адаптационного про-



гноза. Показатель, прогнозируемый на период  $t+1$ , в общем случае описывается выражением

$$U_{t+1} = y(Z_{1, t-1}; Z_{2, t}; Z_{3, t+1}; \eta),$$

где  $Z_{1, t-1}$  — развитие процесса в прошлом периоде  $t-1$ ;  $Z_{2, t}$  — исходная величина текущего развития в момент времени  $t$ ;  $Z_{3, t+1}$  — эвристические и плановые компоненты;  $\eta$  — случайные величины.

Повышение точности прогноза связано с использованием принципов самоорганизации и построением моделей оптимальной сложности.

**Постановка задачи.** Прогнозируемый параметр описывается набором факторов  $Z_j \in x$ , которые изменяются в интервале  $a_j \leq x_j \leq b_j$ . Задан набор возможных детерминированных основ прогноза  $f(x)$ . Требуется определить прогнозную модель (детерминированная основа и набор факторов), при которой выполняются заданные ограничения, а критерий качества прогноза  $\varepsilon_k$  имеет экстремальное значение.

Граф вариантов прогнозных моделей

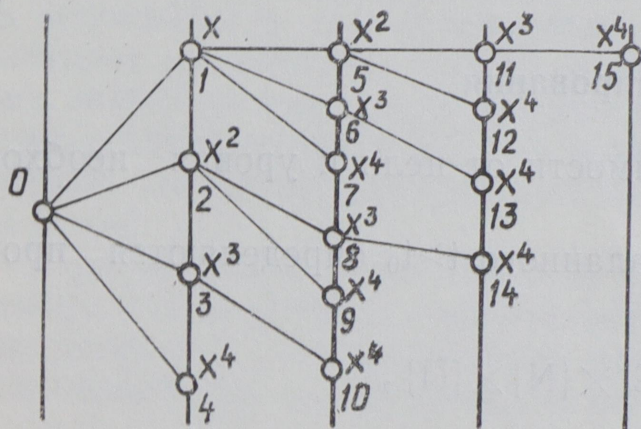


Рис. 1

Исходная информация для решения задачи задается в виде двух матриц  $X = \{X_{j, i}\}$  и  $U = \{y_{jr}\}$ . Множество функций, обладающих свойствами описывать зависимость объема работы станции, узла или другого элемента транспортной системы от определяющих факторов, задается с помощью теории графов. Для построения графа проводится  $m+1$  вертикальная ось ( $m$  — количество возможных вариантов форм взаимосвязи  $U$  с  $x_j$ ). На осях располагаются вершины, символизирующие различные варианты сложности прогнозных моделей. Пример графа прогнозных моделей для одного фактора показан на рис. 1. Например, у вершины графа, расположенной на крайней оси, стоит цифра 15, которой соответствует модель

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3 + b_n x^n.$$

Построение прогнозных моделей оптимальной сложности производится методом направленного отбора, действующего по принципу селекции на каждом этапе двух факторов. По каждому из  $x_j$  факторов на первом этапе рассчитывается матрица критериев качества прогнозов  $\varepsilon = \{\varepsilon_{js}^1\}$ . На второй этап расчетов отбирается не единственная модель, для которой  $\varepsilon_{js}$  минимален, а некоторая совокупность наиболее перспективных решений, размер-



ность которой не превышает  $2/3$  п. На втором этапе селекции рассматриваются возможные варианты моделей, каждая из которых включает по два фактора. Рассчитывается новая матрица  $\varepsilon^2 = \{\varepsilon^2_{j, j+1, s}\}$ . На третий этап расчетов пропускается  $\Phi_2$  моделей. Отбор осуществляется по правилу

$$\varepsilon^2_{j, j+d, s} < \varepsilon^2_{j, j+d, s+1} < \dots < \varepsilon^2_{j, j+d, s+r} < \varepsilon_{\text{пр}},$$

где  $\varepsilon_{\text{пр}}$  — предельно допустимый уровень критерия качества прогноза.

По аналогичной схеме проводятся расчеты на четвертом, пятом и всех последующих этапах до тех пор, пока критерий  $\varepsilon$  не достигнет минимума. В качестве критерия используется приведенная среднеквадратическая ошибка прогноза, вычисленная на контрольной последовательности.

Накопление и обработка результатов применения адаптивного метода прогнозирования транспортных потоков для железнодорожного узла показали, что наилучшие результаты дают модели типа

$$y_{ijt} = d_{\bar{H}_{it} \bar{H}_{jt}} H_{it} H_{jt} \exp(-\beta x_{ijt});$$

$$y^r_{ijt} = d_{\bar{Q}_{it} \bar{Q}_{jt}} Q^s_{it} Q^s_{jt} \psi \exp(-\beta^r_t x^r_{ijt}),$$

где  $y_{ijt}$  — размеры пассажиропотока между  $i$ -м и  $j$ -м пунктами поездки пассажиров в  $t$ -м году;  $y^r_{ijt}$  — то же для грузопотока;  $d_{\bar{H}_{it} \bar{H}_{jt}}$ ,  $d_{\bar{Q}_{it} \bar{Q}_{jt}}$  — нормирующие множители;  $H_{it}$ ,  $H_{jt}$  — количество жителей в  $i$ -м и  $j$ -м пунктах в  $t$ -м году;  $Q^s_{it}$ ,  $Q^s_{jt}$  — объемы производства и потребления  $s$ -го рода груза в  $t$ -м году;  $\psi$  — эмпирический коэффициент;  $x_{ijt}$ ,  $x^r_{ijt}$  — интегральный показатель влияния железнодорожного транспорта на поток между пунктами  $i$  и  $j$ .

Проведенные расчеты показали прогнозируемость всех показателей, а большинство моделей оптимальной сложности носит нелинейный характер. Сравнение прогнозных функций для одних и тех же аргументов, но различных станций и узлов, показало, что прогнозны модели и численные значения коэффициентов — различны, т. е. каждая станция, каждый узел индивидуальны. Прогнозная модель, полученная на основе генеральной совокупности (вся совокупность станций), не может быть использована для расчетов, так как дает большую ошибку.

Подводя итоги машинной обработки результатов прогноза, можно сделать следующие выводы: 1) для каждого множества заданных исследователем переменных и детерминированных основ прогноза существует единственная модель, которая обеспечивает максимальную точность; 2) сформировавшиеся железнодорожные узлы характеризуются устойчивостью, которая понимается как



медленное изменение  $\{W\}$  во времени; 3) значения коэффициентов уравнений одного вида, тип детерминированной основы прогноза для различных станций и узлов неодинаковы. Оперирование средними для всей отрасли значениями искажает результаты. Это делает необходимым выполнение прогноза для конкретных условий, опираясь на адаптационный прогноз; 4) использование адаптационных прогнозов на 20—40% повышает точность проектных расчетов.

#### 4. Теоретические основы оценки колебаний транспортных потоков при расчетах железнодорожных узлов

Неравномерность транспортных потоков вызывает эксплуатационные трудности в работе станций и узлов, требует дополнительных резервов пропускной способности. Например, для погашения колебаний потоков дополнительное число путей в парках крупной сортировочной станции при загрузке выходных каналов на уровне 0,70—0,85 составляет 8—20. Для средних условий работы коэффициент резерва по путевому развитию равен 2,7—3,2. На железнодорожных станциях для погашения колебаний потоков уложено примерно 3300 путей.

В развитии теории колебаний транспортных потоков можно выделить два этапа. Первый охватывает работы, в которых колебания потоков описываются с помощью различных коэффициентов. Наибольшее распространение получил коэффициент неравномерности  $k_n = N_m / \bar{N}$ , где  $N_m$ ,  $\bar{N}$  — соответственно максимальное и среднее количество транспортных единиц, обслуживаемых транспортной системой в течение периода  $T$ . На втором этапе для описания колебаний используется распределение вероятностей. Опыт описания колебаний транспортных потоков распределениями, накопленный в ходе второго этапа, подтвердил возможность их практического применения, позволил установить границы их использования. Однако дальнейшее повышение точности оценки колебаний потоков показывает необходимость совершенствования теоретических основ известных методов. Связано это с рядом причин:

1. Несмотря на внешне большое разнообразие подходов к анализу колебаний транспортных потоков, все они базируются на абстрактных допущениях теории вероятностей и математической статистики.

2. Практически отсутствуют методы оценки колебаний, связанных со структурой железнодорожных узлов и станций.

3. Известные к настоящему времени методы не учитывают влияния возможных отклонений действительных значений объема работы транспортных систем от их прогнозных значений.



Кроме методологических ограничений, современным теоретическим методам присущ и ряд математических, преодоление которых является важным направлением повышения точности расчетов. Статистические критерии значимости, используемые для проверки гипотез о соответствии теоретического распределения опытному, не увязаны с показателями работы реальных транспортных систем, и применение одного критерия часто вступает в противоречие с другим, хотя структура транспортного потока одинакова. Используемые в теории и практике расчетов критерии согласия обладают высокой чувствительностью и малой устойчивостью к объему выборки. Критерии согласия весьма чувствительны даже к незначительным изменениям в структуре потока и не зависят от параметров транспортных систем, которые обслуживают эти потоки. Зоны действия теоретических законов колебаний потоков установлены без учета области применения этой информации (текущие или перспективные расчеты технического оснащения узлов и станций). Пороговые значения критериев согласия не взаимосвязаны с параметрами реальных транспортных систем. В рамках известных теоретических предпосылок невозможно при расчетах параметров транспортных систем оценить эффект от выбора конкретной гипотезы колебаний потоков.

### 5. Выбор оптимальных гипотез колебаний интервалов и интенсивности транспортных потоков в железнодорожных узлах

Выбор оптимальной гипотезы колебаний потоков осуществляется следующим образом: задается класс возможных теоретических гипотез колебаний транспортного потока  $\Theta \in L$ ; структуры пространства  $D$  возможных решений  $d$  по развитию транспортной системы  $d \in D$ ; форма показателя функционирования транспортной системы при  $d$ -м варианте развития и  $l$ -й теоретической гипотезе колебаний потока  $E_{dl}$ , а также при обработке реального потока  $E_{dR}$ . В качестве показателя эффективности  $d$ -го варианта развития транспортной системы используется величина приведенных расходов, а выбор гипотезы целесообразно определять с помощью критерия

$$W_l = \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{j=0}^P (E_{dlj} - E_{dkj})^2} / \left( \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{j=0}^P E_{dlj}^2} + \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{j=0}^P E_{dkj}^2} \right).$$

Оптимальной гипотезой считается та, для которой  $W_l$  имеет минимальное значение. При полном совпадении опытных данных с теоретической моделью  $W_l = 0$ , а в случае их полного несовпаде-



ния —  $W_l \rightarrow 1$ . Если в исходном наборе теоретических моделей не окажется ни одной с глубоким минимумом критерия  $W_l$ , то это свидетельствует о том, что не удалось найти теоретический закон колебаний транспортного потока. Для практических условий такой границей является  $W_l = 0,2$ .

Часто в расчетах целесообразно использовать критерий

$$W_{lt} = \frac{\sqrt{\frac{1}{P} \sum_{j=0}^P (t_{ож, ldj} - t_{ож, dRj})^2}}{\sqrt{\frac{1}{P} \sum_{j=1}^P t_{ож, ldj}^2} + \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{j=1}^P t_{ож, dRj}^2}},$$

где  $t_{ож, ldj}$  — простой подвижного состава при обработке потока, описываемого  $l$ -й гипотезой, и  $d$ -м варианте развития системы;  $t_{ож, dRj}$  — то же при обработке реального потока.

Выполненные исследования неравномерности транспортных потоков с помощью предложенной методики показали, что реальные транспортные системы гораздо менее чувствительны к изменениям в потоке, чем известные критерии согласия. Это позволяет использовать для описания колебаний более простые модели. Оптимальные модели колебаний потоков обладают высокой экономической устойчивостью. Практически во всем диапазоне суточные размеры работы железнодорожных станций и узлов описываются нормальным законом распределения.

## 6. Прогнозирование колебаний интенсивности транспортных потоков

В процессе системного исследования колебаний потоков выявился ряд общих закономерностей:

1. Наблюдается устойчивое снижение относительных размеров колебаний при увеличении интенсивности транспортного потока.
2. Размах колебаний потока зависит от его структуры. При равных значениях интенсивности двух потоков абсолютные и относительные отклонения от среднесуточных значений могут существенно отличаться друг от друга.
3. Между потоками, поступающими на станции с разных подходов и сформированными из разных категорий грузов, существует корреляционная связь. Степень корреляционной связи зависит от структуры и формы организации потока, размещения станционных устройств на полигоне.



Расчеты по выбору оптимальных аппроксимирующих зависимостей показали, что для  $j$ -й категории груза среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации суточных колебаний

$$\sigma_j = a_j \bar{m}_j^{b_j}, \quad \gamma_j = a_j \bar{m}_j^{b_j-1},$$

где  $\bar{m}_j$  — среднесуточное количество вагонов в потоке, формируемом из  $j$ -го груза;  $a_j, b_j$  — эмпирические коэффициенты (табл. 1).

Таблица 1

Таблица значений коэффициентов  $a_j, b_j$

Род груза	$a_j$	$b_j$
1. Каменный уголь (в том числе кокс)	1,224	0,660
2. Нефтяные	1,260	0,658
3. Руда	1,293	0,657
4. Черные металлы	1,249	0,652
5. Лесные	1,232	0,676
6. Минеральные и строительные материалы	1,393	0,653
7. Химические и минеральные удобрения	1,289	0,642
8. Хлебные	1,420	0,662
9. Прочие	1,302	0,701

В табл. 2 приведены значения  $\sigma_j$  в зависимости от интенсивности элементарного потока и рода груза.

Анализ элементарных транспортных потоков позволил установить, что точность расчета суточных колебаний элементарного потока зависит не только от среднесуточной интенсивности (на это указано в ранее выполненных исследованиях), но и от рода груза, из которого сформирован поток. Чем меньше неопределенность потока, тем меньше абсолютная величина резерва. Повышение среднесуточной интенсивности элементарного потока позволяет снизить требуемую величину резерва перерабатывающей способности транспортной системы.

Транспортные потоки, обслуживаемые станциями и другими элементами железнодорожных узлов, формируются из нескольких элементарных потоков. Системные исследования потоков позволи-



ли показать, что между элементарными потоками существует взаимная корреляция, которая оказывает влияние на размах колебаний. Поэтому расчеты железнодорожных узлов и станций, базирующиеся на независимости колебаний транспортных потоков, не всегда приводят к рациональным решениям.

Таблица 2

Значения среднеквадратического отклонения

Среднесуточная интенсивность элементарного потока, ваг.	Род груза (номер)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	8,84	9,05	9,25	8,81	9,33	9,85	9,09	10,31	10,63
40	13,96	14,27	14,59	13,84	14,91	15,49	14,28	16,32	17,28
60	18,25	18,54	19,05	18,03	19,62	20,19	18,60	21,35	22,90
80	22,07	22,52	23,01	21,75	23,83	24,36	22,44	25,83	28,10
100	25,57	26,08	26,64	25,15	27,71	28,18	25,96	29,94	32,80
140	31,93	32,55	33,24	31,32	34,78	35,11	32,33	37,41	41,50
180	37,69	38,40	39,20	36,90	41,29	41,36	38,08	44,19	49,61
220	43,03	43,82	44,72	42,06	48,22	47,16	43,30	50,46	57,10
260	48,05	48,91	49,92	46,89	52,86	52,59	48,39	56,36	64,20
300	52,81	53,74	54,84	58,48	58,23	57,74	53,13	61,96	70,97
340	57,35	58,36	59,54	55,86	63,37	62,62	57,64	67,32	77,48
380	61,72	62,79	64,05	60,06	68,32	67,38	61,98	72,46	83,46

Используя свойство зависимых гауссовских случайных величин, для интегрального потока

$$D_n = \sum_{j=1}^k D_j + 2 \sum_{j < s}^k r_{js} \sqrt{D_j D_s},$$

где  $D_j$ ,  $D_s$  — дисперсия  $j$ -го и  $s$ -го элементарных потоков;  $r_{js}$  — коэффициент взаимной корреляции между  $i$ -м и  $s$ -м элементарными потоками.

Из данного выражения следует, что наличие взаимной корреляции между потоками приводит либо к снижению ( $r_{js} > 0$ ), либо к повышению ( $r_{js} < 0$ ) взаимной компенсации отклонений.

Исследования и обработка данных за 1965—1980 гг. показали, что коэффициенты взаимной корреляции обладают достаточной устойчивостью, и для расчетов могут использоваться средневзвешенные их значения (табл. 3).



Средневзвешенные значения коэффициентов взаимной корреляции  
между элементарными потоками

Номер элементарного потока	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	—	0,651	0,737	0,642	0,319	0,547	0,390	—0,040	—0,051
2			0,305	0,769	0,347	0,214	0,353	0,037	0,200
3				0,388	0,146	0,846	0,417	—0,202	—0,289
4					0,309	0,217	0,222	0,157	0,190
5						0,232	—0,024	—0,019	—0,265
6							0,488	0,131	—0,400
7								0,071	—0,122
8									—0,182
9									

При решении ряда практических задач по расчетам железнодорожных узлов и станций необходимы количественные оценки колебаний потока для любого периода продолжительностью  $T$ . Применяя  $t$  раз свертку Лапласа, легко показать, что распределение, полученное в результате свертки,—гауссово. Поэтому среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации объемов работы станций для любого периода

$$\sigma_{ij} = a'_j \lambda_j^{b_j} T^{0,5}, \quad \gamma_{ij} = a'_j \lambda_j^{b_j-1} T^{0,5},$$

где  $\lambda_j$  — интенсивность  $j$ -го элементарного потока вагонов;  $a'_j$  — эмпирический коэффициент, который зависит от рода груза.

В связи с намечаемым дальнейшим ростом пассажирского движения в дальнем, местном и пригородном сообщениях, повышением длины пассажирских поездов, уменьшением интервалов между ними подлежат дополнительному развитию многие пассажирские и технические пассажирские станции.

При развитии пассажирских станций должны учитываться колебания размеров движения по периодам года, неравномерность распределения поездов каждого вида в течение суток. Это вызывает необходимость дальнейшего совершенствования методов оценки колебаний пассажирских потоков. Обработка статистических данных с использованием теоретических положений, рассмотренных в гл. 5, показала, что колебания суточных пассажиропотоков с любого подхода с достаточной для практики точностью описываются нормальным законом распределения. Среднее квадрати-



ческое отклонение и коэффициент вариации колебаний для любой категории пассажиропотока по отправлению

$$\sigma_{sr} = c_{sr} \overline{M}_s^{d_{sr}}, \quad \gamma_{sr} = c_{sr} \overline{M}_s^{d_{sr}-1},$$

где  $c_{sr}$ ,  $d_{sr}$  — эмпирические коэффициенты для  $s$ -й категории пассажиропотока в  $g$ -м периоде (летнем, зимнем);  $\overline{M}_s$  — среднесуточный пассажиропоток, тыс. чел.

Численные значения эмпирических коэффициентов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Расчетные значения коэффициентов  $c_{sr}$ ,  $d_{sr}$

Категория пассажиропотока	Расчетный день	Период перевозок			
		осенне-зимний		летний	
		$c_{sr}$	$d_{sr}$	$c_{sr}$	$d_{sr}$
1. Пригородный (разовые билеты)	Рабочий	0,782	0,658	1,052	0,651
	Выходной	1,066	0,672	1,123	0,672
2. Пригородный (суммарный поток)	Рабочий	0,763	0,641	0,992	0,643
	Выходной	1,032	0,662	1,046	0,668
3. Местный	Рабочий	1,020	0,660	1,043	0,669
	Выходной	1,094	0,668	1,106	0,674
4. Дальний	—	1,142	0,672	1,206	0,686

В большинстве случаев к пассажирским станциям примыкает несколько подходов, между потоками которых существует корреляционная зависимость. Поэтому

$$\sigma_{sr}^* = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_{sri}^2 + 2 \sum_{i < l}^m r_{il}^* \sigma_{sri} \sigma_{srl}}$$

Исследования показали, что коэффициент взаимной корреляции изменяется в достаточно широких пределах и для пригородных потоков составляет 0,2—0,8, местных—0,2—0,6, дальних—0,1—0,5. Наличие положительной корреляционной связи между потоками увеличивает размах колебаний потоков.

Анализ транспортных потоков позволил установить, что известные методы расчета колебаний не в полной мере учитывают влияние структурной неравномерности, взаимной корреляции между потоками. В результате ошибка в расчетах проектных объемов работы железнодорожных станций достигает 10—50%. Недостаток станционных путей на ряде крупных станций связан с ошибками в прогнозах потребных размеров движения, а не с нарушением общесетевых пропорций развития станций и узлов. Взаимная корреляция для потоков существенно выше по прибытию, и поэтому устройства железнодорожных станций и узлов, обслуживающие такие потоки, должны иметь большой резерв пропускной



(перерабатывающей способности). Колебания пассажиропотоков существенно зависят от периода перевозки пассажиров, интенсивности и категории потока. По мере повышения интенсивности потока, организационного уровня работы железнодорожного транспорта и увеличения расчетного периода размах колебаний уменьшается, а вместе с ним — и величина резерва пропускной способности.

## Раздел 2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ

### 7. Теоретические основы вероятностного метода расчета пропускной (перерабатывающей) способности

Динамичное развитие экономики СССР приводит к росту грузовых и пассажирских перевозок, увеличивает объемы работы железнодорожных узлов и станций. Уже на ближайшую перспективу (1990 г.) общий объем отправления грузов достигнет 4400 млн т, а суточная переработка станций увеличится на 80—90 тыс. вагонов. К 2000 году она возрастет на 220—250 тыс. вагонов. Для освоения таких объемов перевозок будут проведены крупные реконструктивные работы. Расчеты показывают, что в целом по сети к 2000 году необходимо будет произвести укладку 2200—2400 путей, реконструировать 18—23% сортировочных горок, выполнить ряд других мероприятий на общую сумму 1,7—1,9 млрд руб. Поэтому одной из важнейших задач, в рамках этой крупной технико-экономической проблемы, является совершенствование теории расчета пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных станций и узлов.

Анализ выполненных исследований по развитию пропускной и перерабатывающей способности показал, что в основу решения проблемы положена эксплуатационно-экономическая модель, которая не в полной мере учитывает: возмущения в транспортном потоке, вызываемые случайными объективными и субъективными отклонениями от технологических норм; влияние ошибок прогнозирования объемов работы; структуру транспортных потоков и ряд других факторов.

Пропускная способность элемента транспортной системы (перегона, станции) в соответствии с рекомендациями

$$n = \frac{(T_p - \sum t_{\text{техн}})P}{T},$$

где  $T_p$  — продолжительность расчетного периода;  $\sum t_{\text{техн}}$  — суммарные затраты времени, необходимые для технического обслуживания



ния элемента транспортной системы;  $P$  — вероятность безотказной работы системы;  $\bar{T}$  — технологическое время обслуживания транспортной единицы.

В приведенной формуле, отражающей современные принципы расчета пропускной способности, предполагается, что поезда, составы, локомотивы, вагоны и другие транспортные единицы обслуживаются в течение промежутка времени  $T$ , который является постоянной величиной. Однако исследования, выполненные в научно-исследовательских, проектных организациях и вузах, показали, что продолжительность обслуживания транспортной единицы подвержена существенным колебаниям, которые в большинстве случаев описываются нормальным законом распределения. В связи с этим и пропускная способность транспортной системы отклоняется от своего среднего значения. Кроме того, чем выше уровень колебаний  $T$ , тем больший размах имеет пропускная способность элемента системы. Таким образом, для повышения точности расчета пропускной (перерабатывающей) способности транспортной системы недостаточно рассчитать только ее среднее значение. Необходимо уметь находить вероятность того, что наличная пропускная способность будет лежать в заданных пределах в течение расчетного периода  $T_p$ . Важным преимуществом такого подхода является возможность с единых позиций рассмотреть взаимодействие и выполнить соизмерение таких важнейших параметров проектируемых транспортных систем, как наличная и потребная пропускные способности.

В связи с колебаниями продолжительности обработки транспортных единиц их минимальное количество, которое система обслужит, определяется из уравнения (нормальный закон распределения  $T$ )

$$T_p = \bar{T} n_m + 3\sigma(T_p, n_m),$$

где  $\sigma(T_p, n_m)$  — среднее квадратическое отклонение суммарного времени обслуживания  $n_m$  транспортных единиц за период  $T_p$ .

Аналогично, максимальное значение

$$T_p = T n_m - 3\sigma(T_p, n_m).$$

В диссертации показано, что в результате колебаний параметра  $T$  среднее квадратическое отклонение пропускной способности одноканальной транспортной системы

$$\sigma_{II} = \frac{0,5\sigma(\sqrt{4T_p\bar{T} + 9\sigma^2} - 3\sigma)}{\bar{T}^2},$$

где  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение продолжительности обслуживания одной транспортной единицы.



Для транспортных систем, выполняющих роль накопителей (парки станций, склады и др.) или простаивающих в результате освобождения последующей системы, суммарное время занятия системы одной транспортной единицей

$$\bar{T} = \bar{T}_{\text{то}} + \bar{T}_{\text{ож}},$$

где  $\bar{T}_{\text{то}}$ ,  $\bar{T}_{\text{ож}}$  — средняя продолжительность занятия системы соответственно выполнением технологических операций и в ожидании обслуживания.

Для таких систем

$$\sigma'_H = \frac{0,5\sqrt{\sigma_{\text{то}}^2 + \sigma_{\text{ож}}^2} [\sqrt{4T_p(\bar{T}_{\text{то}} + \bar{T}_{\text{ож}}) + 9(\sigma_{\text{то}}^2 + \sigma_{\text{ож}}^2)} - 3\sqrt{\sigma_{\text{то}}^2 + \sigma_{\text{ож}}^2}]}{(\bar{T}_{\text{то}} + \bar{T}_{\text{ож}})^2},$$

где  $\sigma_{\text{то}}$ ,  $\sigma_{\text{ож}}$  — среднее квадратическое отклонение соответственно продолжительности технологической операции и времени ожидания обслуживания,

$$\sigma_{\text{ож}} = \frac{\bar{t}_{\text{об}}}{1 - \rho} \sqrt{\frac{\rho}{3} - \frac{\rho^2}{12} (1 + \gamma_{\text{об}}^2)},$$

где  $\bar{t}_{\text{об}}$  — средняя продолжительность обслуживания транспортной единицы выходным каналом;  $\rho$  — уровень загрузки выходного канала;  $\gamma_{\text{об}}$  — коэффициент вариации величины  $t_{\text{об}}$ .

Графики зависимости среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации пропускной способности транспортных систем от продолжительности расчетного периода показаны на рис. 2. Их анализ позволяет отметить: абсолютный размах колебаний наличной пропускной способности возрастает с увеличением среднего квадратического отклонения времени обслуживания одной транспортной единицы и продолжительности расчетного периода; важным резервом роста пропускной способности одноканальной системы является повышение стабильности величины  $T$ .

## 8. Вероятностный метод расчета пропускной (перерабатывающей) способности элементов железнодорожных узлов

Расчетная пропускная способность системы с учетом колебаний времени обслуживания одной транспортной единицы

$$n_p = \bar{n} - t_p \sigma_H,$$

где  $t_p$  — коэффициент, значение которого принимается в зависимости от заданного уровня вероятности безотказной работы системы.



Графики зависимости среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации пропускной способности транспортных систем от продолжительности расчетного периода

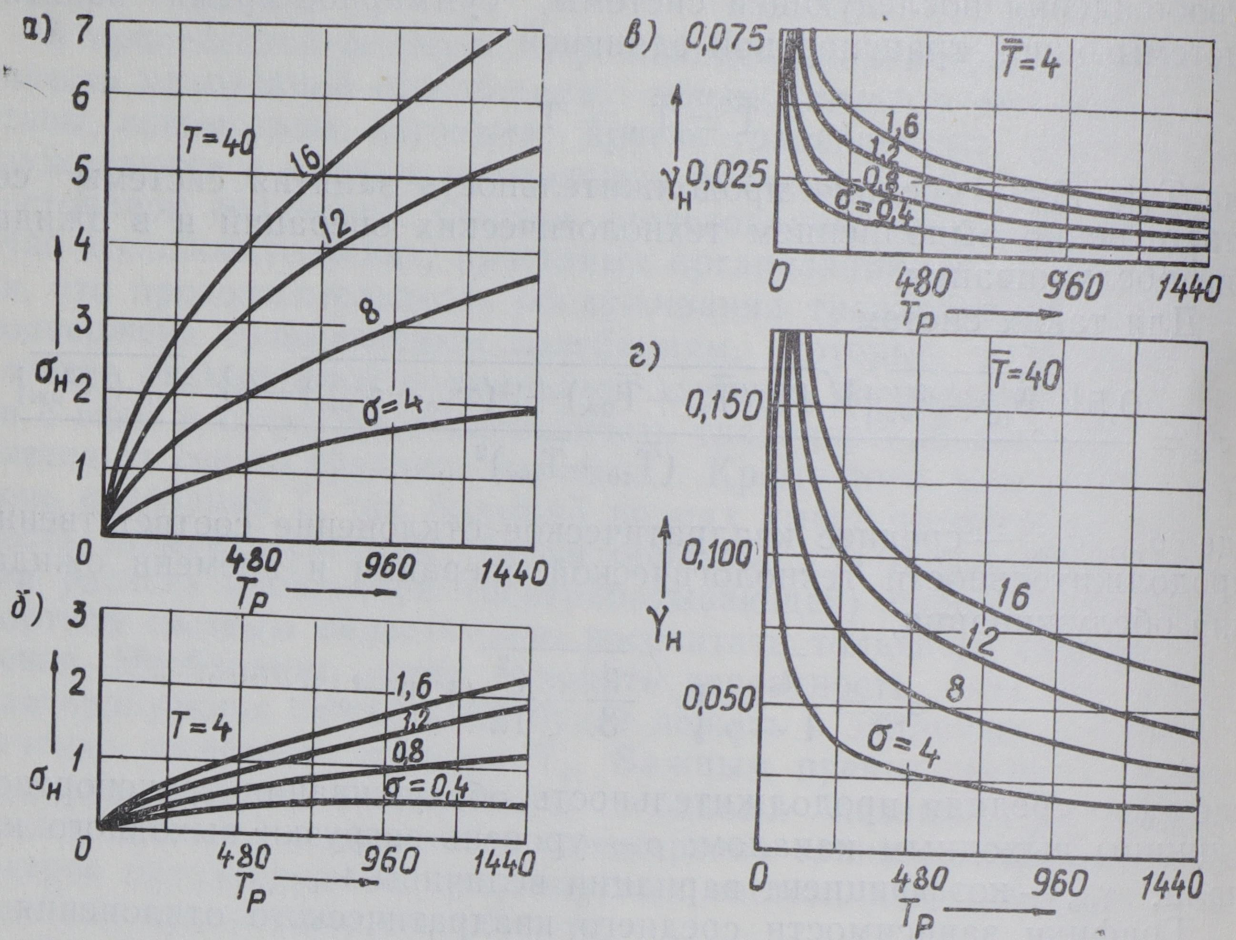


Рис. 2

Для приемо-отправочных парков с наперед заданной вероятностью пропускная способность

$$n_{\text{по}}(P) = \frac{1440 m - \sum T_{\text{п}}}{\bar{T}_{\text{тн}} + \bar{T}_{\text{ож}}} - t_p \sigma_{\text{нт}}^{\text{по}}$$

где  $m$  — число путей в парке;  $\sum T_{\text{п}}$  — продолжительность занятия путей постоянными операциями;  $\bar{T}_{\text{тн}}$  — среднее время занятия пути по технологическому процессу;  $\sigma_{\text{нт}}^{\text{по}}$  — среднее квадратическое отклонение пропускной способности парка из  $m$  путей.

Перерабатывающая способность сортировочной горки

$$n_{\text{г}} = \left[ \frac{1440 - (\sum T_{\text{пост}}^{\text{г}} + T_{\text{пр}})}{\bar{t}_{\text{г}} + \bar{t}_{\text{вр}}^{\text{г}}} + \frac{1440 - (\sum T_{\text{пост}}^{\text{г}} + T_{\text{пр}})}{T_{\text{ц}}} \varphi \right] P_{\text{г}} - t_p \sigma_{\text{г}}$$

где  $\bar{t}_{\text{г}}$  — средний горочный технологический интервал;  $\bar{t}_{\text{вр}}^{\text{г}}$  — время перерывов в использовании горки из-за враждебности передвижений;  $T_{\text{ц}}$  — продолжительность технологического цикла работы горки;  $\varphi$  — коэффициент, учитывающий количество вагонов, расформировываемых за время  $T_{\text{пост}}^{\text{г}}$ ;  $P_{\text{г}}$  — вероятность безотказной ра-



боты сортировочной горки;  $\sigma_r$  — среднее квадратическое отклонение перерабатывающей способности горки в составах,

$$\sigma_r = 0,5 \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_{вр}^2} \left[ \sqrt{4T_p(\bar{t}_r + \bar{t}_{вр}) + 9(\sigma_r^2 + \sigma_{вр}^2)} - 3\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_{вр}^2} \right] (1 + \varphi/n).$$

В диссертации на основе общего подхода дано теоретическое обоснование пропускной (перерабатывающей) способности для горловин и вытяжных путей. Установлено, что одной из причин нерационального использования ресурсов, выделяемых на развитие станций, появления «узких» мест является недостаточная точность методов расчета пропускной способности. Использование разработанных моделей позволяет повысить точность расчета пропускной способности приемо-отправочных парков на 65—97%, перерабатывающей способности сортировочных устройств на 5—25%. Незначительно, на 2—5%, повышается точность расчета горловин, пропускную способность которых можно определять детерминированным способом.

## 9. Методы расчета потребной пропускной способности элементов железнодорожных узлов

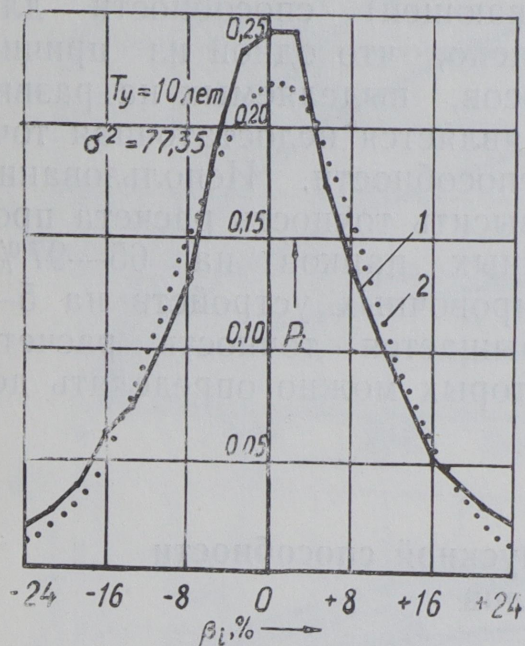
При разработке генеральных схем развития железнодорожных узлов и оптимизации проектных решений важную роль играет совершенствование методов расчета потребной пропускной способности, которые, как правило, базируются на прогнозе объемов работы на 20—25 лет. Опыт разработки прогнозов показал, что объемы работы любого элемента узла растут неравномерно по годам и существенно отклоняются от своего прогнозного значения как в большую, так и в меньшую стороны. Поэтому расчеты потребной пропускной способности железнодорожных станций и узлов на основе нулевой ошибки прогноза объемов работы приводят к нерациональному размещению путевого развития по станциям сети, снижают эффективность реконструктивных мероприятий, сокращают продолжительность работы узлов и станций в оптимальных режимах.

Для повышения точности расчетов и эффективности принимаемых проектных решений следует, в первую очередь, установить закономерности ошибок прогнозов грузовых и пассажирских потоков и их влияние на потребную мощность транспортных систем. Анализ многочисленных прогнозов объемов работы станций и других элементов узлов показал, что во всех случаях отклонения действительных размеров работы от расчетных вызваны тремя группами причин. Первая связана с отклонением фактических размеров работы от расчетных, полученных при описании динамического ряда математической моделью; вторая — случайные от-



клонения, вызванные ошибками прогноза тренда; третья — наличие случайных колебаний размеров работы железнодорожных станций и узлов.

Распределение ошибок прогноза объемов работы сортировочных станций



Условные обозначения:  
1 — эмпирическое распределение;  
2 — теоретическое распределение

Рис. 3

$T_y$  — период упреждения прогноза;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — эмпирические коэффициенты, которые принимаются в зависимости от типа станции и района их расположения (табл. 5).

Исследования ошибок прогноза показали, что они могут быть описаны нормальным законом распределения. В качестве примера на рис. 3 приведено распределение ошибок прогноза объемов работы сортировочных станций. Обработка эмпирических данных позволила для расчета среднего квадратического отклонения ошибок прогноза получить зависимость

$$\sigma_y = \sigma_{opt}(1 + a T_y^{b+c T_y}),$$

где  $\sigma_{opt}$  — среднее квадратическое отклонение действительных размеров работы от прогнозных, отнесенное к одному году контрольной последовательности, или среднее квадратическое отклонение прогноза, данного экспертом;

Таблица 5

Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$

Станция	Железнодорожный узел	$a$	$b$	$c$
1. Сортировочная:	односторонняя	0,0094	1,12	0,0085
	двусторонняя (по системам)			
2. Грузовая	Внутренний	0,0099	1,15	0,0091
	Пограничный	0,0120	1,18	0,0098
3. Пассажирская	Внутренний	0,0111	1,15	0,0093
	»	0,0102	1,12	0,0092
4. Участковая	»	0,0101	1,16	0,0092



Как показали исследования, параметр

$$\sigma_{opt} = \varphi \beta_t \bar{N}_t,$$

где  $\varphi$  — коэффициент, учитывающий районной фактор;  $\beta_t$  — коэффициент, зависящий от типа станции или категории потока;  $\bar{N}_t$  — среднесуточный объем работы станции.

Отклонения действительных размеров работы любого элемента узла от их прогнозных значений зависят не только от ошибки прогноза, но и от случайных суточных колебаний потоков. Сложный механизм взаимодействия двух разновидностей отклонений, ввиду их случайного характера, можно описать с использованием приемов теории вероятностей. В частности, среднее квадратическое отклонение суммарных колебаний в  $t$ -м году

$$\sigma_{pt} = \sqrt{\sigma_{yt}^2 + \sigma_t^2}.$$

В процессе проектирования железнодорожных узлов и станций расчет оптимального резерва пропускной и перерабатывающей способности является одним из наиболее ответственных этапов. Устойчивая работа транспортной системы будет обеспечена, если действительные размеры движения не будут превышать наличную пропускную способность с достаточно малой вероятностью. Учитывая, что наличная и потребная пропускные способности являются независимыми величинами, а их колебания описываются нормальным законом, то искомая вероятность

$$P_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_{pt}^2 + \sigma_n^2)}} \int_{n_M}^{N_{max}} \exp - \frac{(N_t - \bar{N}_t)^2}{2\sigma_{pt}^2} dN_t \int_{n_M}^{N_{max}} \exp - \frac{(n - \bar{n})^2}{2\sigma_n^2} dn,$$

где  $N_{max}$  — максимальные размеры движения.

Выполненные расчеты показали, что стратегический резерв пропускной способности, вызванный неопределенностью прогноза объемов работы железнодорожных станций и узлов, составляет 15—18%, размеры резервов зависят не только от типа станции, но и от расчетного срока, на который разрабатывается проект. С увеличением продолжительности расчетного срока на 5 лет потребный размер резерва повышается на 3—5%.

## 10. Совершенствование принципов технико-экономического сравнения вариантов развития железнодорожных узлов

На развитие железнодорожного транспорта выделяются большие денежные и материальные ресурсы (с 1970 по 1985 гг. свыше



48 млрд руб.). Значительные капитальные вложения направляются на развитие узлов и станций. Только за годы X и XI пятилеток количество сортировочных путей увеличилось на 11,4%, механизировано и автоматизировано более 40 сортировочных горок, оборудовано ЭЦ около 45 тыс. стрелок и др. Однако анализ работы железнодорожного транспорта за 1965—1985 гг. показал, что оборот вагона замедляется. Одной из основных причин этого является задержка поездов на подходах к станциям. Поэтому совершенствование принципов технико-экономического сравнения вариантов развития узлов и подсчета приведенных затрат играет важную роль в повышении эффективности использования ресурсов и ликвидации «узких» мест в техническом оснащении станций.

Анализ проектов развития станций и узлов показал, что стоимость строительно-монтажных и других видов работ—показатель динамичный. Например, удельные капитальные вложения, необходимые для прироста пропускной способности сети на 1 пару поездов в XI пятилетке увеличились по сравнению с IX пятилеткой в 1,83 раза. Поэтому подсчет приведенных строительно-эксплуатационных расходов необходимо вести по формуле

$$E_{\text{пр}} = K_0 + \sum_{t=1}^T \frac{(1 + \varphi t) K_t + (1 + \beta t) E_t}{(1 + E_{\text{ин}})^t},$$

где  $K_0$  — капитальные вложения, осваиваемые в нулевом году расчетного периода  $T$  сравнения вариантов;  $K_t$ ,  $E_t$  — соответственно капитальные вложения и эксплуатационные расходы в  $t$ -м году;  $\varphi$ ,  $\beta$  — коэффициенты (или функции), учитывающие тенденцию изменения расходных ставок.

В транспортных системах продолжительность выполнения отдельных операций, трудоемкость и другие показатели являются вероятностными из-за воздействия на них случайных факторов. Поэтому проблема расчета экономических показателей работы станций должна решаться с помощью вероятностных моделей, а при оценке эффективности развития станций и узлов следует использовать неаддитивный подход к сложению эффектов, возникающих при развитии отдельных элементов указанных систем. Например, суммарный простой подвижного состава в ожидании обслуживания (математическое ожидание) при развитии системы по  $s$ -му варианту

$$B_s = 365 \sum_{j=1}^n N_j \int_i^m \int_{N_{j-i}}^{N_{j+1}} P(iS) P(j) t_{ij}^s d_i d_j,$$

где  $t_{ij}^s$  — простой подвижного состава при  $i$ -й стратегии развития транспортной системы и  $j$ -й стратегии потока.



Многочисленные расчеты на ЭВМ, выполненные по предлагаемому методу, позволили установить, что существующие способы определения простоя подвижного состава при развитии элемента транспортной системы по  $i$ -му варианту занижают эту величину на 8—110% и, следовательно, приводят к выбору нерациональных проектных и технологических решений.

## 11. Оптимизация поэтапного развития железнодорожных станций и узлов

Любой железнодорожный узел или его элемент при поэтапном развитии рассматривается как физическая система  $S$ , состояние которой определяется множеством  $\{U\}$  параметров. С изменением  $\{U\}$  система переводится из одного в другое состояние. Последовательное изменение структуры узла и его технического оснащения из начального состояния  $S_0 \in \bar{S}_0$  в конечное  $S_k \in \bar{S}_k$ , при котором соблюдаются ресурсные, технические, технологические ограничения и достигается минимум приведенных расходов, будем называть генеральным планом развития, т. е.

$$E_{пр} = \min \{E_{пр}(U)\}.$$

При переходе от  $j$ -го варианта к  $(j+k)$ -му и подсчете приведенных расходов в модели учитываются: капитальные вложения на развитие; расходы, связанные с пробегом поездов и локомотивов в пределах узла, с эксплуатацией сортировочных и других станций; расходы, вызванные простоем подвижного состава на «конфликтных» точках в узле и задержкой отправления транзитных поездов.

Одной из важнейших задач поэтапного развития железнодорожных узлов является выбор пути повышения перерабатывающей способности сортировочных станций. Автором совместно с докт. техн. наук Н. В. Правдиным и канд. техн. наук В. А. Подкопаевым предложен ряд схем сортировочных станций повышенной производительности, основные варианты которых приведены на рис. 4. В схеме I для накопления вагонов местных назначений, а также отсева пересекающихся сквозных назначений в каждой технологической линии выделяются по 3—4 пути предварительной сортировки (ППС), два из которых в горочной горловине соединяются со средним ходовым путем. С помощью этого соединения обеспечивается возможность вывода вагонов с отсевных путей на повторную сортировку. Последовательно ППС размещаются горка малой мощности и местный сортировочный парк ( $CO_m$ ). В периоды интенсивного подвода поездов предложенная схема обеспечивает работу станции в параллельном режиме.



Схема II отличается от рассмотренной наличием в каждой половине сортировочного парка группы путей  $C_m$  (полезной длиной на половину состава) для накопления вагонов местных назначений (дублирование), а также по одному-два пути для пересекающихся потоков сквозных назначений. В хвостовой горловине обе группы путей  $C_m$  объединяются в один пучок с последовательным размещением ГММ и секционированных путей («елочки») для дробной сортировки и подборки вагонов местных назначений. Применение схемы II позволяет обеспечить поточность формирования многогруппных поездов и сократить время их нахождения на станциях.

Повышение перерабатывающей способности сортировочных станций до 18—20 тыс. вагонов в сутки обеспечивает схема III. Поезда, поступающие в расформирование, принимаются в объединенный парк приема П, причем поезда с максимальным количеством перекрестных потоков поступают на средние пути парка приема. На сортировочной горке  $\Gamma_1$  отдельно функционируют три технологические линии. На линиях 1 и 3 параллельно расформировывают два состава. Перекрестные потоки поступают в соответствующие секции сортировочного парка. Вторая технологическая линия используется для разделения потока в ППС на две части, содержащих назначения  $C^1_1$  и  $C^2_1$ . Вагонопотоки  $C^1_1$  концентрируются в верхней, а  $C^2_1$ —в нижней частях сортировочного парка. Последовательно с основной сортировочной горкой  $\Gamma_1$  располагается вторая, на которой предварительно подготовленные в ППС вагонопотоки расформировываются на пути  $C^2_1$  и  $C^2_2$  в параллельном режиме. Перекрестные вагонопотоки с путей Сп и Сл на горке  $\Gamma_2$  расформировываются последовательно в перерыве между роспуском составов с ППС. После накопления состава на путях  $C^1_1$  и  $C^2_1$  обе части выставляются в парк отправления и объединяются. При новом строительстве, а также в ряде случаев при реконструкции станций целесообразно использовать схему с внутренним расположением локомотивного хозяйства (рис. 5, схема IV).

При постоянном расформировании-формировании соединенных поездов на станциях необходимо создавать специальную технологическую линию (схема V). Соединенные поезда принимаются в специализированный парк ( $П_3 + П^1_3$ ), пути которого имеют двойную длину и секционированы. С путей парка  $П_3$  обеспечивается прямая связь с горками  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ , а с путей  $П^1_3$ —с горкой  $\Gamma_3$ . На горках  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  осуществляется роспуск двух составов на пути  $C^1_1$  и  $C^1_2$  по назначениям плана формирования. Перекрестные и местные вагонопотоки следуют в парки  $C_1$  и  $C_2$ . На горке  $\Gamma_3$  расформировываются перекрестные потоки, а также головные части двойных составов. После накопления составов на путях  $C^1_1$  и  $C^1_2$



Схемы сортировочных станций повышенной производительности

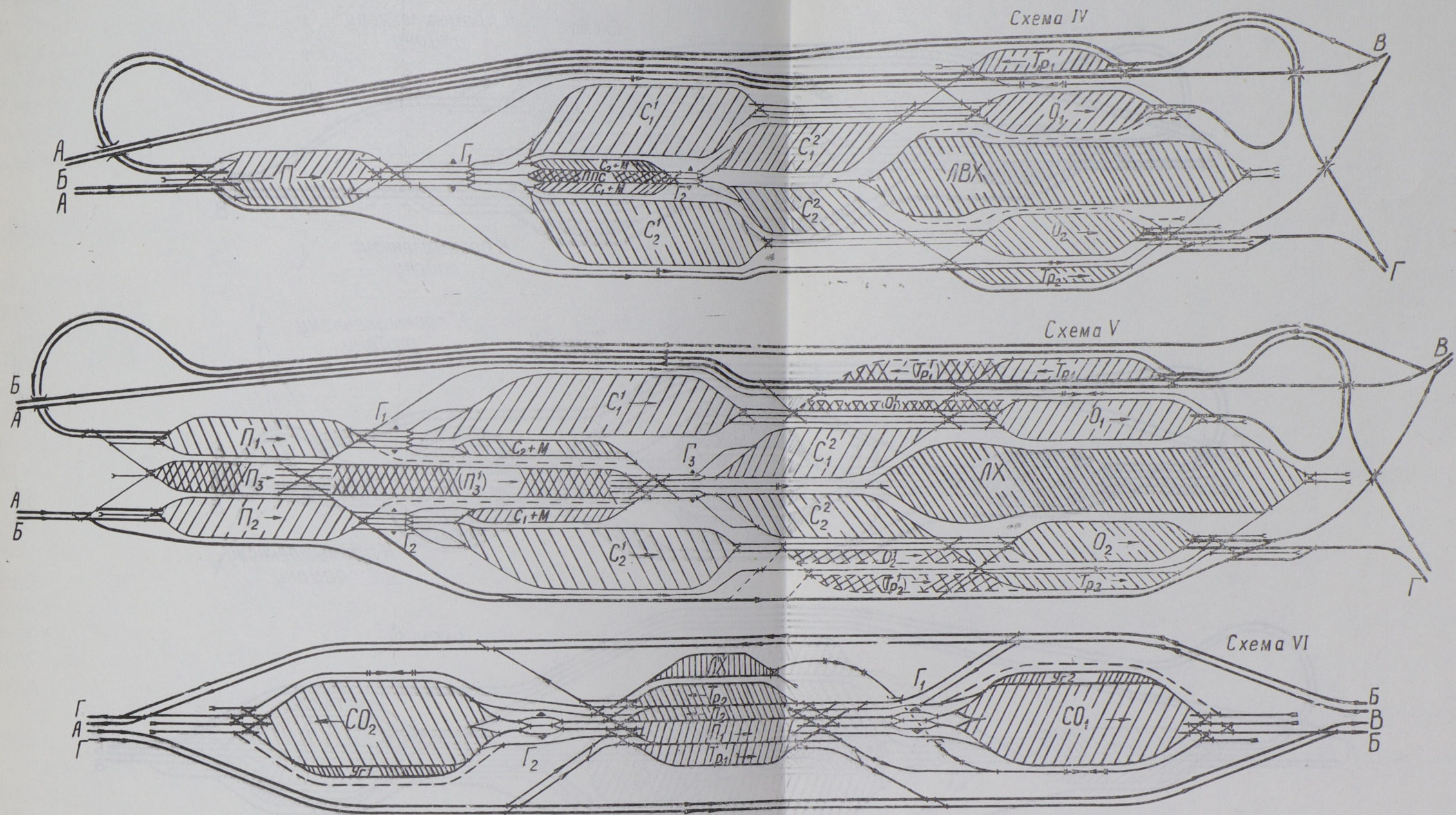


Рис. 4



Схемы сортировочных станций повышенной производительности

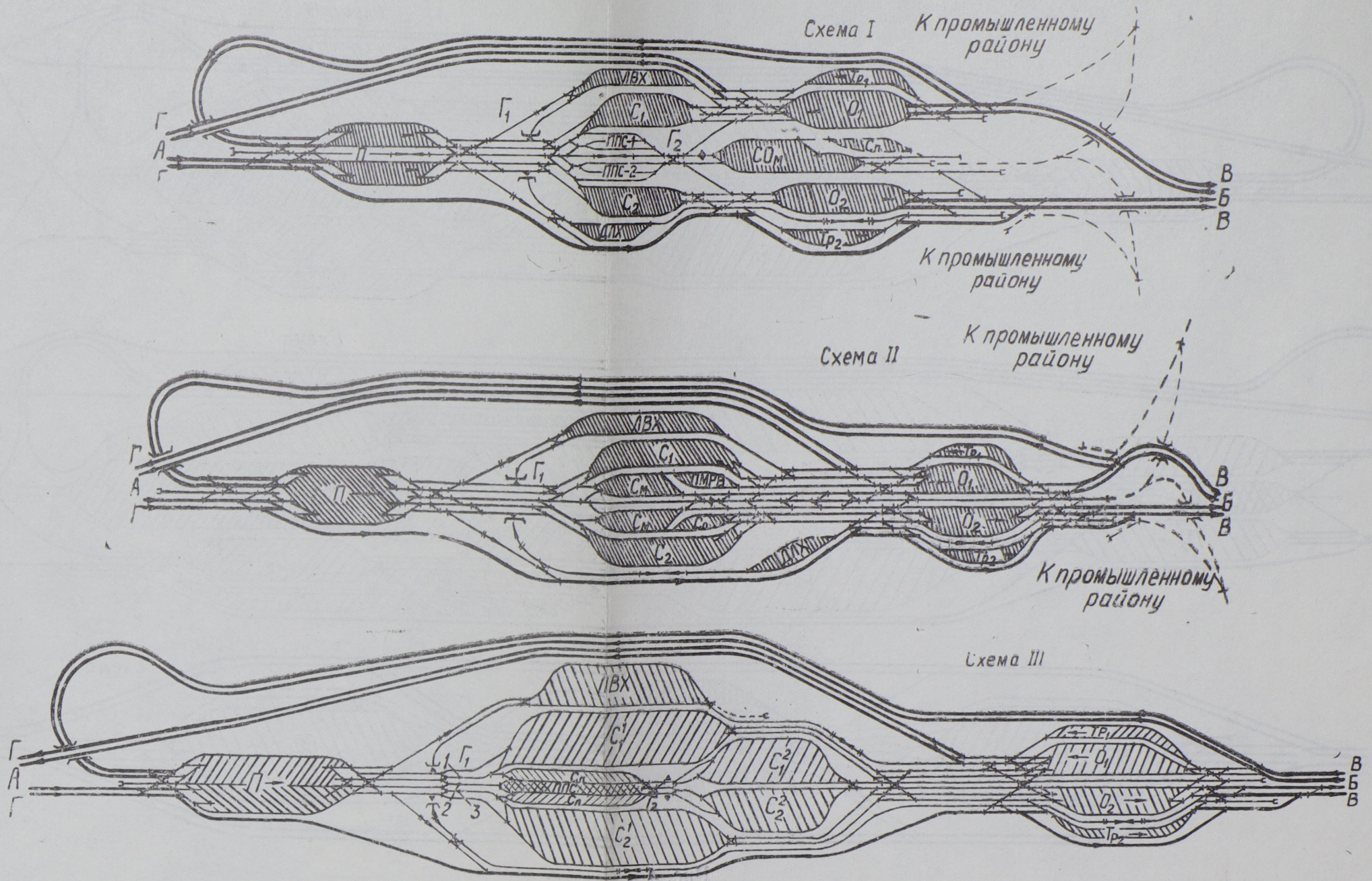


Рис. 5



или  $C^1_2$ ,  $C^2_2$  они выставляются в парк  $O_1$  и  $O^1_1$  или  $O_2$ ,  $O^1_2$ , где объединяются в поезд повышенной длины и массы.

Высокую перерабатывающую способность, поточность и низкие расходы на переработку одного вагона обеспечивает использование схемы VI. Принципиальным отличием схемы является объединенный парк приема для поездопотоков встречных направлений. Такое решение позволяет существенно сократить пробег поездов и локомотивов в пределах станции, уменьшить потребность в маневровых локомотивах и эксплуатационном штате.

Оптимизация поэтапного развития узла осуществляется с использованием алгоритма «киевский веник» или метода последовательного анализа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе выполнено теоретическое обобщение и решена научная проблема рационального комплексного развития железнодорожных станций и узлов как многофункциональных систем, работающих с неравномерными, нелинейными и неопределенными нагрузками, и на их основе рекомендованы пути повышения эффективности использования и развития их пропускной и перерабатывающей способности. В результате выполненных исследований разработаны теоретические и методологические основы определения перспективных размеров работы станций и узлов, расчета наличной перерабатывающей способности элементов железнодорожных узлов при колебаниях продолжительности обслуживания транспортных единиц, даны рекомендации по совершенствованию структуры сортировочных станций, определению оптимальных режимов работы и технического оснащения на стадии проектирования железнодорожных станций и узлов. При этом получены следующие результаты.

1. На основании массовых обследований режимов работы и проектов развития железнодорожных станций и узлов показано, что свыше 70% «узких» мест на сети железных дорог связано с недостаточным и некомплексным развитием станций и узлов.

Установлено, что одной из причин нерационального развития железнодорожных станций и узлов является отсутствие надежных прогнозов грузо-, пассажиро- и поездопотоков на 15 и более лет. Известные методы прогнозирования, построенные на основе простых моделей, которые весьма приближенно отражают условия работы транспортных систем и не учитывают многообразие факторов, дают погрешность 10—90%.

2. Разработаны основные положения теории адаптивных прогнозных моделей пассажиро- и грузопотоков при проектировании железнодорожных станций и узлов. Показана целесообразность



перехода к прогнозным моделям оптимальной сложности и предложены методики прогнозирования транспортных потоков различных категорий. Установлено, что в большинстве случаев действительные размеры работы железнодорожных узлов описываются нелинейными функциями, а использование простейших линейных моделей оправдано только для периода упреждения 5 лет. При совпадении детерминированной основы прогноза с действительной закономерностью роста транспортных нагрузок чувствительность параметров прогнозной модели к изменению объема обучающей выборки снижается, а использование моделей оптимальной сложности повышает точность прогноза на 20—40%. Для периода упреждения 20 и более лет целесообразно использовать многократные адаптивные прогнозы с привлечением экспертной информации.

3. Систематизированы результаты массовых обследований показателей проектных и действительных размеров работы элементов железнодорожных узлов. В результате установлено, что одной из причин несоответствия технического оснащения станций заданным размерам работы является отсутствие нормативно-технической документации и методических разработок для определения влияния ошибок прогнозирования плановой составляющей транспортного потока на принимаемое проектное решение, оторванность абстрактных математических критериев оценки колебаний потоков от реальных показателей работы транспортных систем. Во-первых, случайные колебания транспортной нагрузки взаимодействуют со случайными отклонениями действительных размеров работы от их прогнозных значений. Во-вторых, теоретические модели колебаний транспортных потоков базируются на абстрактных допущениях теории вероятностей и математической статистики, не учитывают влияние структуры транспортных систем, наличие существенных связей между колебаниями потоков разных родов груза, оторваны от теории прогнозирования. В-третьих, критерии значимости, используемые для проверки гипотез о соответствии теоретического распределения опытному, не увязаны с показателями работы станций и узлов. В-четвертых, использование формальных критериев не позволяет дать оценку эффекта от применения более совершенной гипотезы колебаний транспортных потоков. В результате погрешность известных методов расчета колебаний объемов работы железнодорожных станций и узлов достигает 10—50%.

4. Разработан новый метод выбора оптимальных гипотез колебаний интервалов и интенсивности транспортных потоков в железнодорожных узлах, основанный на использовании реальных критериев работы транспортных систем (простой подвижного состава, приведенные расходы). Расчеты показали, что в реальных



транспортных системах существует тесная взаимосвязь между мощностью системы и процессом выбора гипотезы распределения колебаний интервалов, продолжительности обработки подвижного состава, объема работы и других параметров. Доказано, что при допустимой ошибке расчета показателя эффективности транспортной системы в размере  $\pm 3\%$  величина критерия согласия Пирсона при оценке суточных колебаний потоков может изменяться в пределах 150—300. Это позволяет использовать в практических расчетах более простые математические модели.

5. Расчеты по установлению влияния случайных колебаний транспортных потоков на техническое оснащение железнодорожных станций и узлов рекомендуется выполнять на основе корреляционной теории колебаний, разработанной в диссертации, которая позволяет повысить точность расчетов на 10—50%.

Установлено, что практически во всем диапазоне суточных объемов работы грузовых и пассажирских станций, а также других элементов железнодорожных узлов, суточные колебания элементарных транспортных потоков описываются нормальным законом распределения.

Наибольшая положительная корреляция между колебаниями грузовых потоков характерна для таких грузов, как руда и каменный уголь, черные металлы и нефтяные грузы, отрицательная—для минерально-строительных материалов и прочих грузов. Корреляционная взаимосвязь между потоками, прибывающими на грузовые станции, увеличивает размах колебаний объемов выгрузки на 20—40% по сравнению с колебаниями погрузки.

Колебания пассажиропотоков существенно зависят от периода перевозки пассажиров, дня недели, категории потока и могут рассчитываться по разработанной в диссертации методике. Установлено, что наибольший относительный размах колебаний характерен для дальних пассажиропотоков, наименьший — для пригородных.

Взаимная корреляция между потоками, прибывающими с разных подходов для расчетного периода продолжительностью 2—3 ч, изменяется в пределах: пригородный—0,2—0,8, местный—0,2—0,6, дальний 0,1—0,5. Поэтому при увеличении количества подходов, примыкающих к пассажирской станции, необходимо иметь дополнительный резерв пропускной способности для погашения отрицательного воздействия корреляции между потоками.

6. Предложен вероятностный подход к расчету наличной пропускной (перерабатывающей) способности железнодорожных станций и узлов. Показано, что в теории и практике расчетов не учитываются колебания наличной пропускной способности, которые вызываются отклонениями в продолжительности обработки подвижного состава. В результате допускаются ошибки в опреде-



лении «узких» мест и нерационально используются ресурсы, выделяемые на развитие станций и узлов.

Исследование колебаний наличной пропускной способности железнодорожных станций и узлов с использованием предложенных аналитических моделей и имитационного моделирования показало, что наименьший размах колебаний пропускной способности имеют системы с нормальным законом распределения продолжительности обслуживания транспортных единиц и наибольший — при экспоненциальном законе.

7. Выявлено, что одной из причин нерационального использования ресурсов на развитие станций и узлов является детерминированный подход к расчету наличной пропускной способности. Переход к вероятностным моделям позволяет сократить погрешность расчета пропускной способности приемо-отправочных парков на 65—97, сортировочных устройств—на 2—25, станционных горловин—на 2—5, грузовых фронтов—на 30—85%.

8. Установлено, что при комплексном подходе к оценке резервов пропускной (перерабатывающей) способности железнодорожных станций и узлов, учитывающем колебания наличной пропускной способности и отклонения действительных размеров работы от их прогнозных значений, превышение среднесуточных нагрузок на 2,5σ недостаточно, а размеры резерва зависят не только от типа станции или другого элемента узла, но и от продолжительности расчетного срока. С увеличением последнего на 5 лет резерв пропускной способности, при прочих равных условиях, необходимо повышать на 3—5%.

9. Скорректирована методика технико-экономического сравнения вариантов развития железнодорожных станций и узлов. Установлено, что сложившаяся практика выбора оптимального варианта повышения пропускной способности железнодорожных станций и узлов, а также других транспортных систем, базирующаяся на статичности стоимостных и других показателей в течение длительного периода сравнения вариантов, приводит к ошибкам и снижает эффективность использования капитальных вложений.

В связи с повышением стоимости строительно-монтажных работ, оборудования, топлива, подвижного состава эффект от отдаления капитальных вложений, оцениваемый по утвержденной в настоящее время методике, завышен на 3—15%. Область целесообразности отдаления реконструктивных мероприятий существенно уже рекомендуемой действующими нормативными документами. Развитие станций и узлов экономически целесообразно проводить крупными этапами, увеличив расчетные периоды, указанные в инструкции по проектированию станций и узлов, в 1,8—2,2 раза. Расчетные сроки между этапами развития железнодорожных станций и узлов занижены против оптимальных на 5—8 лет. Кро-



ме того, расширяется диапазон более дорогостоящих вариантов проектных решений, которые обеспечивают сокращение пробега подвижного состава, задержку транспортных единиц в ожидании обслуживания.

10. Оптимизационные расчеты по развитию железнодорожных станций и узлов следует проводить с использованием вероятностно-статистического принципа, позволяющего дать системную оценку эффекта от сокращения простоя подвижного состава. Доказано, что при технико-экономическом обосновании вариантов развития станций и узлов с учетом системного эффекта оптимальные границы загрузки устройств целесообразно сократить на 8—20%.

Недооценка эффекта от сокращения продолжительности простоя подвижного состава при использовании детерминированных методов расчета привела к снижению эффективности проектных решений, отразилась на политике распределения капитальных вложений между отдельными подсистемами железнодорожных узлов, способствовала распылению капитальных вложений и других ресурсов. Целесообразно при разработке генеральных схем развития железнодорожных узлов увеличить долю капитальных вложений на реконструкцию комплекса по обработке местных вагонопотоков, повысить удельный вес крупных реконструктивных и технологических мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Негрей В. Я. Поэтапное развитие сортировочных станций//Правдин Н. В., Банек Т. С., Негрей В. Я. Проектирование железнодорожных станций и узлов. Ч. I.—2-е изд., доп. и перераб.—Минск: Вышэйшая школа, 1984.—Гл. 16.—С. 189—213.

2. Негрей В. Я., Правдин Н. В. Цели и задачи проектирования станций и узлов.—Гл. I.—С. 5—11. Проектирование сортировочных станций.—Гл. 14.—С. 168—183. Пропускная и перерабатывающая способность станций.—Гл. 18.—С. 254—270. Оптимизация проектных решений.—Гл. 19.—С. 270—279. Особенности развития сортировочных станций.—Гл. 20.—С. 280—285//Правдин Н. В., Банек Т. С., Негрей В. Я. Проектирование железнодорожных станций и узлов. Ч. I.—2-е изд., доп. и перераб.—Минск: Вышэйшая школа, 1984.

3. Негрей В. Я., Банек Т. С. Понятия о отдельных пунктах (станциях) и их основных устройствах.—Гл. 2.—С. 11—29. Основные технические нормы проектирования, земляное полотно и верхнее строение пути на отдельных пунктах.—Гл. 3.—С. 30—38//Правдин Н. В., Банек Т. С., Негрей В. Я. Проектирование железнодорожных станций и узлов. Ч. I.—2-е изд., доп. и перераб.—Минск: Вышэйшая школа, 1984.

4. Негрей В. Я., Правдин Н. В. Особенности развития пассажирских и технических станций на зарубежных железных дорогах.—Гл. 7.—С. 73—77. Железнодорожные узлы.—Гл. 12.—С. 124—128. Расположение основных устройств в железнодорожных узлах.—Гл. 14.—С. 151—160. Транспортные узлы.—Гл. 17.—С. 181—191//Правдин Н. В., Банек Т. С., Негрей В. Я. Проектирование железнодорожных станций и узлов. Ч. II.—2-е изд., доп. и перераб.—Минск: Вышэйшая школа, 1984.



5. Негрей В. Я., Банек Т. С. Грузовые станции общего пользования.—Гл. 8.—С. 78—96//Правдин Н. В., Банек Т. С., Негрей В. Я. Проектирование железнодорожных станций и узлов. Ч. II.—2-е изд., доп. и перераб.—Минск: Вышэйшая школа, 1984.
6. Негрей В. Я. Прогнозирование пассажиропотоков методом корреляционного анализа.—Гл. 3.—С. 31—50. Прогнозирование методами множественной регрессии.—Гл. 4.—С. 51—80. Система автоматизированного прогнозирования транспортных потоков.—Гл. 6.—С. 109—128. Долгосрочное прогнозирование пригородных пассажиропотоков с помощью САПП.—Гл. 7.—С. 129—152//Правдин Н. В., Негрей В. Я. Прогнозирование пассажирских потоков.—М.: Транспорт, 1980.
7. Негрей В. Я., Правдин Н. В. Модели краткосрочного прогнозирования пассажиропотоков//Правдин Н. В., Негрей В. Я. Прогнозирование пассажиропотоков.—М.: Транспорт, 1980.—Гл. 8.—С. 153—175.
8. Негрей В. Я. Техническое оснащение станций. Парки транзитный, приема и отправления//Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты).—М.: Транспорт, 1984.—Гл. 4.—С. 50—60.
9. Негрей В. Я. Оптимизация проектных решений. Реконструкция станций//Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты).—М.: Транспорт, 1984.—Гл. 4.—С. 171—175.
10. Негрей В. Я. Поэтапное развитие станций и узлов. Железнодорожный узел//Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты).—М.: Транспорт, 1984.—Гл. 8.—С. 183—199.
11. Негрей В. Я. Пропускная и перерабатывающая способность станций. Горловины, парки и пути//Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты).—М.: Транспорт, 1984.—Гл. 9.—С. 210—220.
12. Негрей В. Я. Исходные нормативы для проектирования станций и узлов. Статистические методы расчета параметров//Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты).—М.: Транспорт, 1984.—Гл. 12.—С. 286—293.
13. Негрей В. Я. Некоторые задачи совершенствования методов расчета пропускной способности элементов единой транспортной системы//Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. «Пути совершенствования перевозочного процесса и управления транспортом».—Гомель, 1985—С. 469—470.
14. Негрей В. Я., Негрей Н. П. Вероятностно-статистический принцип расчета транспортных систем (на примере сортировочных станций)//Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов.—Гомель, 1984.—С. 15—23.
15. Правдин Н. В., Негрей В. Я., Негрей Н. П. Методика этапного развития сортировочных станций//Транспортное строительство.—1983.—№ 4.—С. 6—8.
16. Правдин Н. В., Негрей В. Я., Еловой И. А. Расчет путевого развития пассажирских технических станций//Транспортное строительство.—1979.—№ 6.—С. 12—14.
17. Негрей В. Я. Транспортные узлы.—Гл. 2.—С. 31—38. Основные характеристики процессов взаимодействия различных видов транспорта.—Гл. 3.—С. 38—42. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах при перевалке грузов.—Гл. 10.—С. 129—136. Единый технологический процесс работы различных видов транспорта в узле.—Гл. II.—С. 152.—170//Взаимодействие различных видов транспорта в узлах.—2-е изд., доп. и перераб.—Минск: Вышэйшая школа, 1983.
18. Негрей В. Я., Правдин Н. В. Единая транспортная система.—Гл. I.—С. 5—31. Классификация процессов взаимодействия различных видов транспорта в узлах.—Гл. 4.—С. 42—50. Основные свойства узлов.—Гл. 5.—С. 50—56. Классификация транспортных узлов.—Гл. 6.—С. 56—64. Основные характеристики функционирования транспортного узла.—Гл. 7.—С. 65—95. Оптимизация процессов взаимодействия в узлах.—Гл. 12, 13.—С. 171—215. Опти-



мизация медленно протекающих процессов взаимодействия. — Гл. 14. — С. 216—241//Взаимодействие различных видов транспорта в узлах.—2-е изд., доп. и перераб.—Минск: Вышэйшая школа, 1983.

19. Негрей В. Я. Расчет путевого развития пассажирских станций//Применение математических методов и ЭЦВМ при проектировании станций и узлов: Сб. науч. трудов БелИИЖТа.—Гомель: 1973.—С. 68—83.

20. Правдин Н. В., Негрей В. Я., Подкопаев В. А. Пути увеличения перерабатывающей способности станций//Вопросы совершенствования проектирования и использования устройств железнодорожных и промышленных узлов: Сб. научн. трудов МИИТа. — М., 1976—С. 77—79.

21. Сортировочные станции. Ч. I—IV//Правдин Н. В., Банек Т. С., Негрей В. Я. и др.; Под ред. Н. В. Правдина.—Гомель: 1983.

22. Правдин Н. В., Негрей В. Я. Некоторые пути повышения эффективности взаимодействия различных видов транспорта//Автоматизация процессов взаимодействия транспортных систем.—Владивосток, 1983. С. 19—25.

Материалы диссертации апробированы в докладах на всесоюзных, межвузовских конференциях и семинарах, а также на научно-технических советах Киевгипротранса, Гипротранстэи, Белорусской железной дороги.

Негрей Виктор Яковлевич

**Научные основы расчетов и проектирования  
железнодорожных станций и узлов**

Подписано к печати 19.01.1987 г. АЗ 44028. Формат бумаги 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. тип. № 1. Уч.-изд. л. 2,0. Тир. 150 экз. Зак. 203.

Типография БелИИЖТа, 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34