

На правах рукописи



**КОТЕЛЬНИКОВ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ**

**ОПТИМИЗАЦИЯ  
ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации (промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ИРКУТСК – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВПО ИРГУПС)

**Научный руководитель**

кандидат технических наук, доцент

**Иванкова Людмила Николаевна**

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор

**Гозбенко Валерий Ерофеевич**

кандидат технических наук, доцент

**Климов Александр Александрович**

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет путей сообщения»

Защита диссертации состоится «01» марта 2012 года в 13-30 часов на заседании совета по защите кандидатских и докторских диссертаций Д 218.004.01 при ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения» (664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15, ауд. А-803).

Тел. (8-3952) 63-83-83; факс (8-3952) 38-77-46; e-mail: mail@irgups.ru

WWW: <http://www.irgups.ru>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Ваш отзыв на автореферат, заверенный гербовой печатью учреждения, просим направлять в адрес диссертационного совета.

Автореферат разослан 16 января 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, профессор



И.И. Тихий

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В соответствии со «Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года», важной задачей, требующей решения, является снижение совокупных транспортных издержек, в том числе за счет повышения эффективности функционирования железнодорожного транспорта. Для решения поставленной задачи были утверждены «Программа совершенствования работы и развития сортировочных станций на 2006–2015 годы» и «Схема размещения и развития сортировочных станций до 2015 года». Согласно расчетам в этих документах, было определено, что дефицит путевого развития по многим станциям должен быть снят за счет улучшения технологии работы. Поэтому установление соответствия технического оснащения технологическим параметрам работы железнодорожных станций является актуальной научной задачей, имеющей важное народно-хозяйственное значение.

При решении данной задачи необходимо учитывать, что железнодорожные станции являются сложной системой и включают большое количество элементов, находящихся в развитых связях. Определение оптимальных параметров работы сортировочных и участковых железнодорожных станций требует применения методов системного анализа и моделирования с учетом их специфических особенностей, заключающихся в масштабности и многосвязности объектов моделирования; наличии большого количества управляющих воздействий; широком диапазоне изменения переменных, участвующих в процессе моделирования.

Значительный вклад в решение проблемы оптимизации развития и размещения устройств на железнодорожных станциях внесли Е.В. Архангельский, В.Я. Болотный, М.К. Брехов, П.С. Грунтов, К.Г. Гусева, К.М. Добросельский, Ю.И. Ефименко, А.М. Козлов, Ю.Е. Лукьянов, И.Е. Савченко и др. Вопросами создания и совершенствования систем управления на железнодорожном транспорте занимались В.М. Акулиничев, А.Ф. Бородин, А.К. Головнич, П.А. Козлов, Ю.Ф. Мухопад, А.Т. Осьминин, В.А. Персианов, Н.В. Правдин, К.Ю. Скалов, Е.М. Тишкин, В.А. Шаров и др.

В нашей стране вопросами моделирования транспортных систем и потоков занимались Ю.А. Бобров, В.Е. Гозбенко, П.А. Козлов, В.А. Савина, К.К. Таль и др. Необходимо отметить вклад международного концерна Siemens AG; железнодорожных компаний США, Канады и европейских стран: Union Pacific, Southern Pacific, Belt Railway, Canadian National, Deutsche Bahn AG, SNCF и др. – в развитие систем управления на железнодорожном транспорте.

Несмотря на большую научную и практическую значимость проблемы, характер и степень влияния размеров вагонопотоков на емкость путевого развития и взаимное расположение основных устройств на участковых и сортировочных станциях с позиции системного подхода изучены недостаточно. Отсутствие в настоящий момент универсальной методики определения оптимальных технических и технологических параметров железнодорожных станций определило цели и задачи настоящего исследования.

**Целью диссертационной работы** является разработка методики управления и оптимизации технических и технологических параметров железнодорожных станций в зависимости от объема выполняемой работы.

Для достижения поставленной цели в работе **решены следующие основные задачи:**

1. Проведен системный анализ работы железнодорожных станций при различном техническом оснащении и технологии работы.

2. Дана оценка межоперационных простоев вагонов на основе имитационного моделирования.

3. Определены граничные значения величин вагонопотоков, при достижении которых необходимо принимать управляющее решение по улучшению технологии работы и технического оснащения станций.

4. Определена экономическая эффективность конструктивных и организационных изменений (на примере работы промышленных железнодорожных станций Восточно-Сибирского и Красноярского регионов).

5. Установлено рациональное соотношение технических и технологических параметров промышленных железнодорожных станций как сложных систем в зависимости от объема выполняемой работы.

**Методы исследования.** При решении поставленных задач использованы методы системного анализа, статистической обработки данных, теории надежности, методы математического планирования эксперимента, методы динамического программирования при определении этапности развития станций в зависимости от различных факторов, имитационное моделирование работы промышленных железнодорожных станций.

**Научную новизну** составляют и на защиту выносятся следующие положения:

1. Методический подход к прогнозированию объемных и качественных показателей и комплексной оценке надежности работы станций как сложных систем, основанный на комплексном использовании статистических, детерминированных методов обработки данных и разработанной имитационной модели.

2. Методика установления эффективных резервов для обеспечения оптимального функционирования промышленных железнодорожных станций, узлов и отдельных элементов.

3. Методика оценки параметров функционирования промышленных железнодорожных станций с учетом приоритетности обслуживания в парках вагонов различных собственников, а также приоритетности пропуска и обслуживания поездов, отправляемых на внутреннюю и внешнюю сеть.

4. Имитационная модель работы железнодорожных станций как информационно-управляющая система реального времени, позволяющая прогнозировать показатели работы промышленных железнодорожных станций.

**Практическая ценность.** Разработанная методика, алгоритмы и программный комплекс, имитирующий работу сложных транспортных систем, могут использоваться владельцами инфраструктуры железнодорожного транспорта, проектными и научными организациями для определения оптимального со-

отношения емкости путевого развития, локомотивного парка и штата работников технического осмотра в зависимости от размеров поступающих поездопотоков. Результаты исследования позволят прогнозировать и определять простои грузовых поездов при заданных параметрах и определять факторы, которые необходимо изменить для ускорения переработки вагонов.

**Реализация результатов работы.** Выполненные теоретические и экспериментальные исследования использованы при определении оптимального штата работников технического осмотра (ПТО) и емкости путевого развития на промышленной сортировочной станции Ангарск (ОАО «Восточно-Сибирский промышленный транспорт»). Разработанная имитационная модель была использована при прогнозировании изменения работы промышленных станций Ачинск, Назарово, Красноярск (ОАО «Восточно-Сибирский промышленный транспорт»). Экономический эффект был получен за счет сокращения штата, рационального использования путевого развития и локомотивов, уменьшения задержек подвижного состава и составил 5 млн руб. в год. Результаты исследования используются в учебном процессе в Иркутском государственном университете путей сообщения в рамках дисциплин «Информационные технологии на транспорте» и «Проектирование сортировочных устройств», а также разработанная компьютерная модель «Автоматизированная система взаимодействия элементов технических железнодорожных станций» используется при выполнении дипломного проектирования по специальности «Организация перевозок и управление на транспорте».

**Апробация работы.** Основные выводы диссертационной работы, научные выводы и предложения доложены и получили положительную оценку на межвузовских научно-технических конференциях: «Актуальные проблемы развития транспортного комплекса» (г. Самара, 2009 г.), «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (г. Иркутск, 2009 г.), «Проблемы транспорта Дальнего Востока» (г. Владивосток, 2009 г.), «Тринадцатая научно-техническая конференция КРИЖТ ИрГУПС» (г. Красноярск, 2009 г.), «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (г. Иркутск, 2011 г.); на заседаниях кафедры «Управление эксплуатационной работой» Иркутского государственного университета путей сообщения в 2008–2011 гг.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 11 статей, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, заключения, библиографического списка, включающего 128 наименований, и 12 приложений. Общий объем работы составляет 207 страниц машинописного текста и содержит 14 таблиц, 34 рисунка и 71 страницу приложений. В приложении приведены акты внедрения и свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

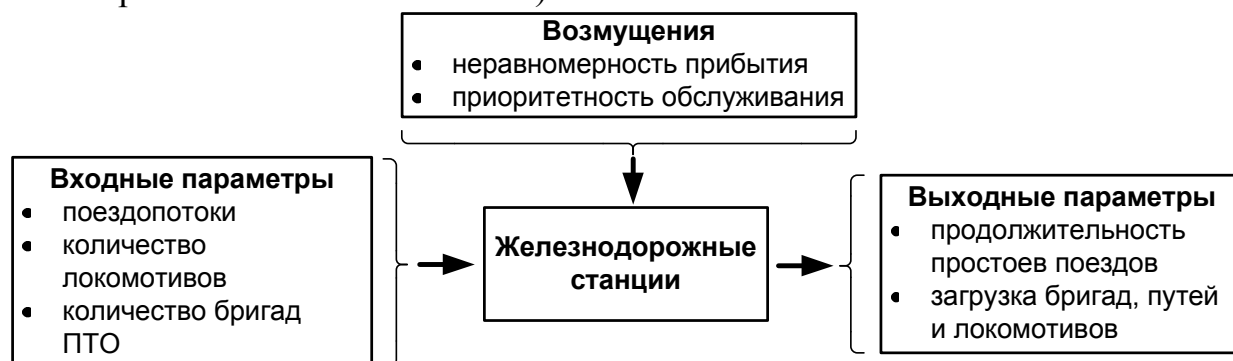
## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, дается общая характеристика проблемы, определены основные задачи исследования.

**В первой главе** выполнен анализ научной литературы по теме исследования и обобщены основные особенности технического оснащения и технологии работы участковых и сортировочных станций как сложных систем.

Большой вклад в развитие теории систем и системного анализа внесли А.А. Денисов, Л. Берталанфи, М. Месарович, С.Л. Оптнер, Ф.П. Тарасенко, С. Янг и др. На основе системного подхода процесс функционирования железнодорожных станций представлен в виде системы, которая включает большое количество элементов, находящихся в развитых связях. На качественные и количественные характеристики этих связей влияют: параметры входного поездопотока, емкость путевого развития, количество маневровых и горочных локомотивов, различное число бригад технического осмотра в приемо-отправочных парках, расположение основных парков, степень механизации и автоматизации технологического процесса и т. д.

Для обеспечения повышения эффективности функционирования железнодорожных станций необходимо производить полный учет входных и выходных параметров (рис. 1) с учетом возмущений (приоритетность обслуживания вагонов различных собственников).

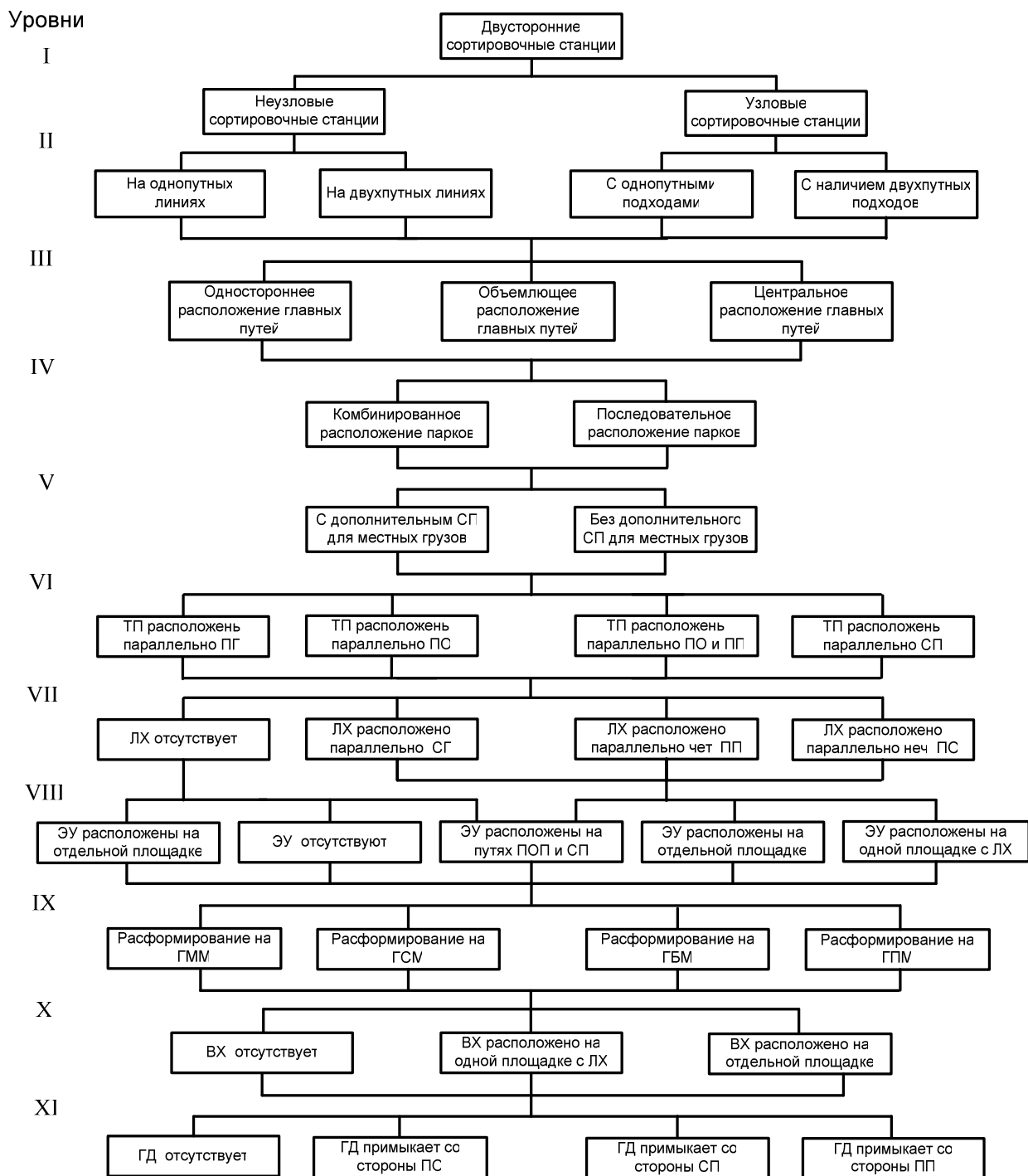


**Рис. 1.** Схема учета воздействия параметров на железнодорожные станции

В заключительной части главы на основе анализа данных исследований определены оптимальные способы решения поставленных задач, которые описываются в следующих главах.

**Во второй главе** описывается разработка имитационной модели работы участковых и сортировочных станций.

На основе анализа схемных решений участковых и сортировочных станций были разработаны классификаторы схем (рис. 2). Анализ уровней изменяющихся факторов, по каждой схеме, позволил установить систему связей «подходы – парк приема – горка», отображающую основную работу участковых и сортировочных станций. Установленная система связей послужила основой при определении выполняемых операций в различных парках технических станций.



**Рис. 2. Классификатор схем двусторонних сортировочных станций**

При разработке модели использовались статистические данные, полученные при изучении работы участковых и сортировочных станций Красноярской и Восточно-Сибирской железных дорог. С этой целью был выполнен анализ 2788 интервалов поступления и количества вагонов в составе грузовых поездов. Установлено, что степень согласованности распределения интервалов поступления грузовых поездов с показательным законом распределения превышает 0,95. На основе анализа структуры входящего вагонопотока установлено, что степень согласованности распределения длин грузовых поездов с нормальным законом распределения по всем рассмотренным сортировочным и участковым станциям

превышает 0,9. Проверка согласованности статистических и теоретических распределений выполнялась при помощи критерия согласия Пирсона. Полученные значения использовались при составлении расписания прибытия и моделировании времени обработки каждого поезда.

Основной частью в работе программы является моделирование работы станции. Весь процесс моделирования разделен на несколько отдельных элементов. Все части являются обобщенными и включают в себя большое количество более мелких подпрограмм. Общий вид алгоритма процесса моделирования представлен на рис. 3.

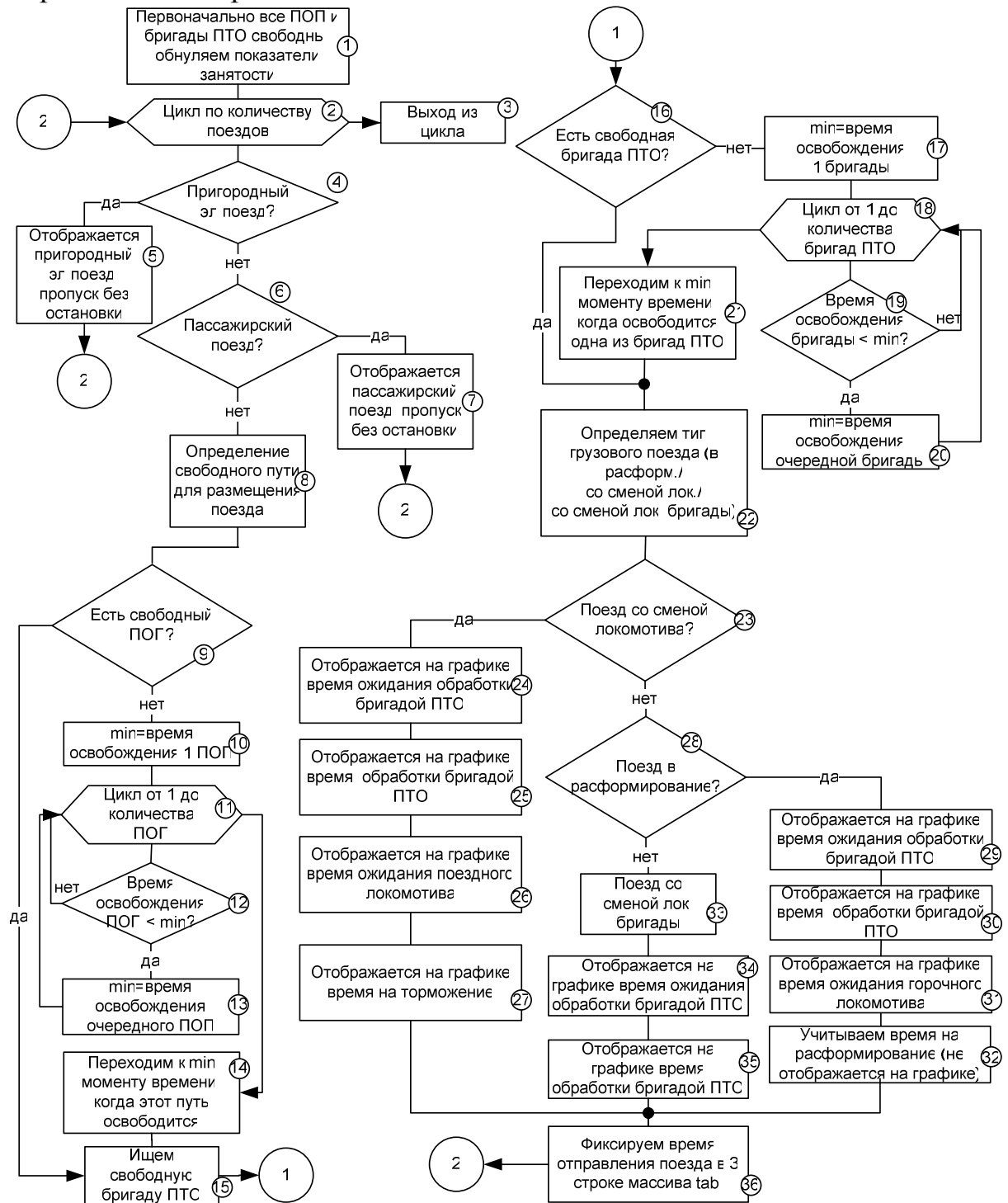
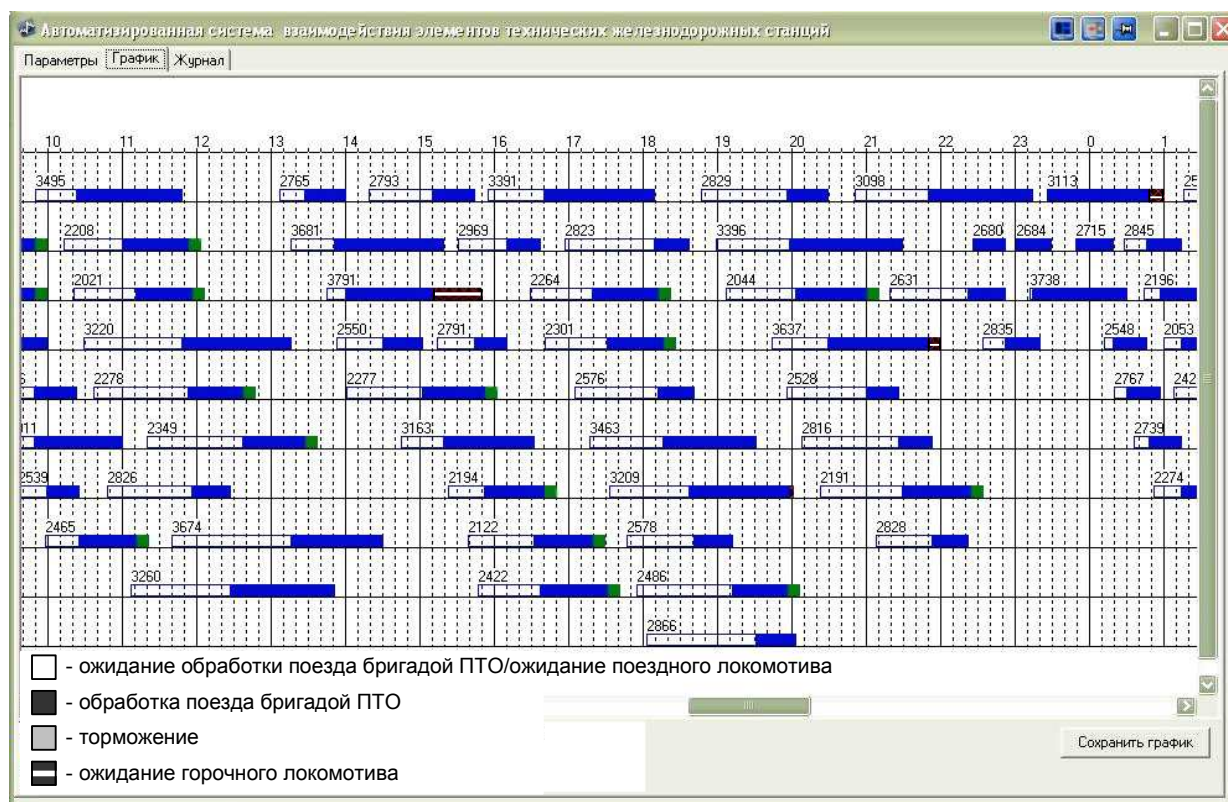


Рис. 3. Алгоритм процесса моделирования железнодорожных станций



Программная реализация алгоритма выполнена в среде Delphi. Исходными данными для имитационного моделирования явились: количество путей и бригад ПТО в парке приема; общее количество поездов в сутки; доля грузовых поездов каждой категории: поступающих в расформирование, со сменой локомотива, со сменой локомотивных бригад; продолжительность обработки грузовых поездов каждой категории; коэффициенты вариации времени обработки состава, ожидания горочного и поездного локомотива; количество суток работы станции; минимальный интервал между поездами, мин; параметр Эрланга.

Программный интерфейс позволяет исследовать поведение системы при различных значениях параметров, которые изменяются в широком диапазоне. Интерфейс программы имеет три вкладки: параметры модели, график и журнал. На вкладке «Параметры» указывают параметры потока поездов, характеристики параметров обслуживания, количество путей в приемо-отправочном парке. Результаты моделирования могут быть представлены в графическом и табличном виде – вкладки «График» (рис. 4) и «Журнал».



**Рис. 4. График обработки грузовых поездов в парке прибытия участковой станции**

На основе графика составляется таблица поступления поездов на станцию. В таблице отображаются: номер суток моделирования; номер поезда; время прибытия и отправления поезда; общее и среднее время нахождения поезда в парке, ожидания начала выполнения операций, ожидания начала осмотра бригадой ПТО, ожидания начала работы горочного локомотива (для поездов, поступающих в расформирование), время ожидания грузовым поездом на сосед-

ней станции освобождения путей в приемо-отправочном парке. Полученные результаты можно сохранять и обрабатывать с помощью табличного процессора Excel.

На разработанную компьютерную программу, «Автоматизированная система взаимодействия элементов технических железнодорожных станций», было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011617982 от 12.10.2011.

**Третья глава** посвящена разработке методики управления и оптимизации технических и технологических параметров железнодорожных станций на основе метода планирования эксперимента.

Основными переменными при планировании эксперимента были приняты: количество прибывающих поездов; количество приемо-отправочных путей; соотношение категорий грузовых поездов; количество одновременно работающих бригад ПТО. Под соотношением категорий грузовых поездов понимается распределение грузовых поездов каждой категории по долям: поступающих в расформирование, со сменой локомотива, со сменой локомотивных бригад.

Границы значений всех факторов, влияющих на процесс моделирования, были определены на основе анализа технических и технологических параметров существующих участковых и сортировочных станций.

Кодированные значения факторов рассчитаны для транзитного парка сортировочной станции, приемо-отправочного парка участковой станции и для парка приема сортировочной станции в отдельности, поскольку максимальные и минимальные значения факторов варьируются по-разному. Также разделение и определение более точных границ изменения каждого фактора позволят произвести планирование эксперимента с большей точностью.

Значения факторов задавались в кодированных величинах. Максимальный уровень фактора равен +1, минимальный –1 и средний 0. В общем случае относительное, или кодированное, значение фактора равно:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i\text{cp}}}{X_{i\text{cp}} - X_{i\text{min}}} = \frac{X_i - X_{i\text{cp}}}{X_{i\text{max}} - X_{i\text{cp}}} = \frac{2X_i - X_{i\text{max}} - X_{i\text{min}}}{X_{i\text{max}} - X_{i\text{min}}}, \quad (1)$$

где  $X_{i\text{max}}$ ,  $X_{i\text{min}}$  – максимальное и минимальное значение фактора, т. е. пределы варьирования фактора в эксперименте;  $X_{i\text{cp}}$  – значение фактора на основном (среднем) уровне;  $X_i$  – именованное (абсолютное) значение фактора;  $X_{i\text{cp}} - X_{i\text{min}} = X_{i\text{max}} - X_{i\text{cp}}$  – полуинтервал варьирования фактора;  $x_i$  – кодированное значение фактора.

При планировании эксперимента в работе были использованы полный факторный эксперимент  $2^3$  и  $2^2$ . Матрица планирования полного факторного эксперимента, отображающая простои грузовых поездов в транзитном парке сортировочной станции по причине занятости бригад ПТО, представлена в табл. 1.

Методом планирования эксперимента были определены аналитические зависимости продолжительности простоя грузовых поездов из-за занятости бригад ПТО и горочного локомотива при изменяющихся факторах. В общей сложности было составлено 17 полиномов второй и третьей степени, отобра-

жающих простои грузовых поездов в различных парках участковых и сортировочных станций.

Таблица 1

**Матрица планирования полного факторного эксперимента при одновременной работе 2 бригад ПТО**

№ эксперимента	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	$Y_1$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	5,67
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	195,67
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	17,00
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	424,33
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	5,67
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	229,67
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	17,00
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	650,00
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{123}$	
	193,13	181,79	83,96	32,46	78,29	32,46	23,96	23,96	

Полиномы третьей степени, отображающие простои грузовых поездов в транзитном парке сортировочной станции, имеют следующий вид:

$$Y_{1ПТО} = 323,79 + 274,46 \cdot x_1 + 147,38 \cdot x_2 + 36,04 \cdot x_3 + 131,04 \cdot x_1x_2 + 36,04 \cdot x_1x_3 + 18,79 \cdot x_2x_3 + 18,79 \cdot x_1x_2x_3, \quad (2)$$

$$Y_{2ПТО} = 193,13 + 181,79 \cdot x_1 + 83,96 \cdot x_2 + 32,46 \cdot x_3 + 78,29 \cdot x_1x_2 + 32,46 \cdot x_1x_3 + 23,96 \cdot x_2x_3 + 23,96 \cdot x_1x_2x_3, \quad (3)$$

$$Y_{3ПТО} = 113,08 + 108,25 \cdot x_1 + 54,33 \cdot x_2 + 63,50 \cdot x_3 + 51,50 \cdot x_1x_2 + 63,50 \cdot x_1x_3 + 39,25 \cdot x_2x_3 + 39,25 \cdot x_1x_2x_3, \quad (4)$$

где  $Y_{1ПТО}$  – время простоя грузовых поездов при 1 работающей бригаде ПТО;

$Y_{2ПТО}$  – время простоя грузовых поездов при 2 работающих бригадах ПТО;

$Y_{3ПТО}$  – время простоя грузовых поездов при 3 работающих бригадах ПТО;

$x_1$  – кодированное значение фактора, зависящее от количества прибывающих поездов в сутки;

$x_2$  – кодированное значение фактора, зависящее от соотношения категорий грузовых поездов;

$x_3$  – кодированное значение фактора, зависящее от количества приемо-отправочных путей.

Планирование эксперимента и последующее моделирование выполнялось с использованием варьирования параметров на верхних и нижних уровнях, которые максимально точно позволяют подобрать условия, отображающие работу парка существующей участковой или сортировочной станции. Изменяя значения основных факторов в разработанных формулах, можно выбрать оптимальное соотношение количества одновременно работающих бригад ПТО, путей и прибывающих грузовых поездов. Полученные результаты моделирования представлены в виде графиков (рис. 5). В общей сложности составлен 41 график зависимостей задержек поездов, приведенный в приложениях.

Поддержание загрузки основных элементов (путей, горки, локомотивов, бригад ПТО) на уровне не более 75–80 % позволяет оптимизировать значения основных показателей работы станций и уменьшает риск увеличения непроизводительного простоя поездов в непредвиденных ситуациях.

Формулы полиномов и имитационная модель были проверены на адекватность реальным процессам работы станций.

Важным показателем, характеризующим степень согласованности и взаимодействия отдельных внутростанционных систем между собой, является эксплуатационная надежность работы станций. Для всех рассмотренных вариантов работы парков, принятых при проведении планирования эксперимента, были определены коэффициенты надежности по приему поездов и составлены графики. Расчеты подразделялись в зависимости от числа обслуживающих устройств (количество одновременно работающих бригад ПТО) на одноканальные и многоканальные и определялись по формулам теории массового обслуживания.

Полученные результаты послужили основой для разработки методики управления и оптимизации технических и технологических параметров железнодорожных станций в зависимости от объема выполняемой работы. Обобщенный вид методики представлен в виде алгоритма (рис. 6). На пятом шаге происходит контроль надежности работы парков по приему поездов. При этом контрольное значение  $P_{\text{контроль}} = 90\%$ . Несоблюдение данного условия приведет к одновременным задержкам двух и более поездов чаще одного раза в сутки. Данный факт может существенно нарушить работу парков соседних станций и прилегающих участков. На 8-м шаге происходит завершение цикла изменения количества путей и бригад ПТО. Основным условием является общее сокращение времени нахождения грузовых поездов в парках.

Влияние всего комплекса технических и технологических параметров на показатели работы станции можно представить в виде структуры

$$C = \{P_{\text{ТЕХ}}; P_{\text{ТЕХНОЛ}}\}, \quad (5)$$

где  $P_{\text{ТЕХ}}$ ,  $P_{\text{ТЕХНОЛ}}$  – совокупность технических и технологических параметров работы станций соответственно, при этом

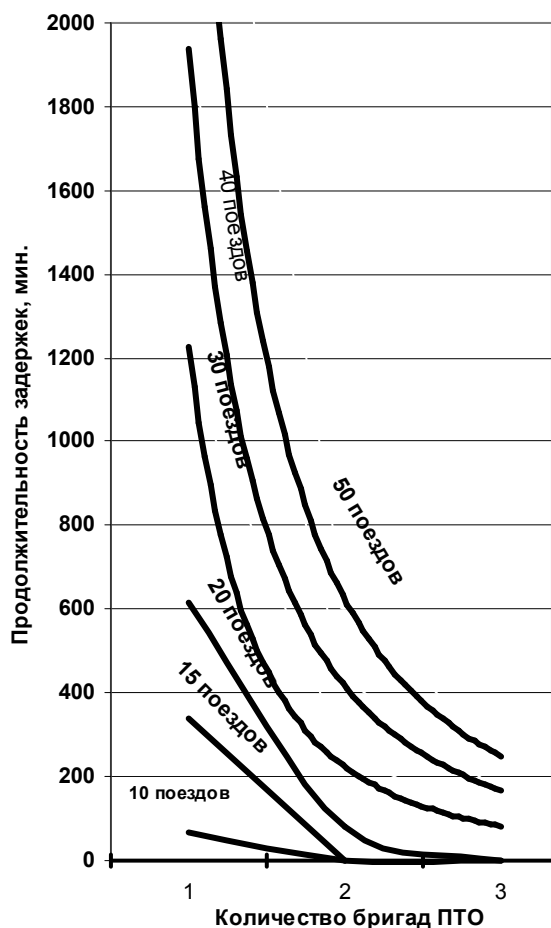


Рис. 5. График зависимостей задержек поездов в приемо-отправочном парке участковой станции

$$P_{\text{ТЕХ}} = \{P_1^{\text{Тех}}; P_2^{\text{Тех}}; P_3^{\text{Тех}}; \dots; P_N^{\text{Тех}}\}, \quad (6)$$

где  $P_1^{\text{Тех}}; P_2^{\text{Тех}}; \dots; P_N^{\text{Тех}}$  – технические параметры работы станций: количество и емкость приемо-отправочных путей, примыкание подходов и железнодорожных путей необщего пользования, размеры станционной площадки, расположение основных парков и т.д.

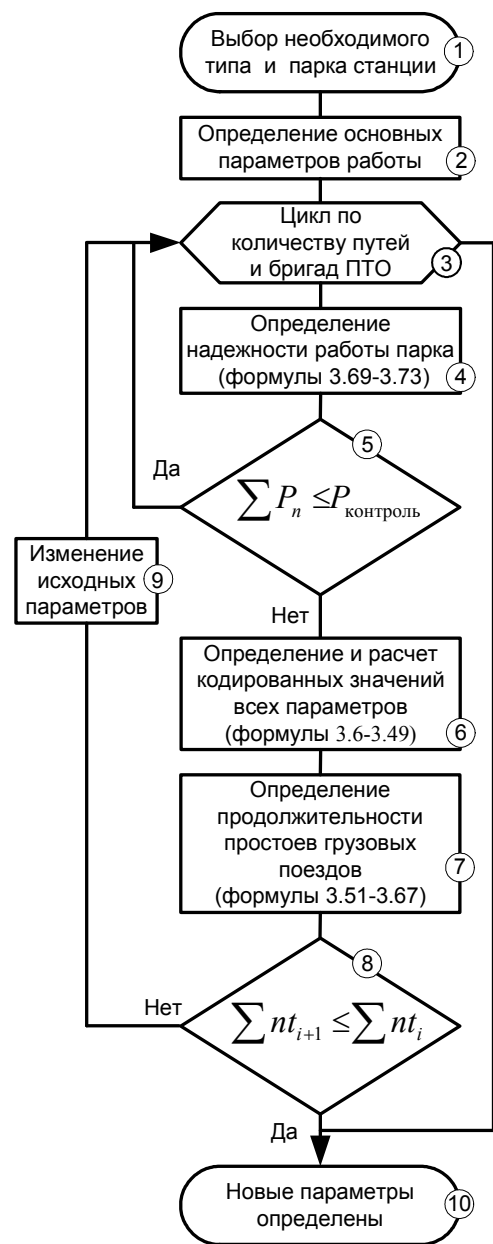
$$P_{\text{ТЕХНОЛ}} = \{P_1^{\text{Технол}}; P_2^{\text{Технол}}; P_3^{\text{Технол}}; \dots; P_M^{\text{Технол}}\}, \quad (7)$$

где  $P_1^{\text{Технол}}; P_2^{\text{Технол}}; \dots; P_M^{\text{Технол}}$  – технологические параметры работы станций: количество маневровых и горочных локомотивов, количество бригад ПТО, последовательность и продолжительность выполнения операций и т. д.

Все технические и технологические параметры можно разделить на «управляемые» и «неуправляемые» (рис. 7). Значения «управляемых» параметров могут быть изменены лицом, принимающим решения (ЛПР или соответствующим органом) в пределах определенных сроков времени (квартал, год): ввод дополнительных бригад ПТО, ввод дополнительного маневрового или горочного локомотива, строительство дополнительных путей и т. д.

«Неуправляемые» параметры не могут быть изменены в значительной степени в связи со сложившимися обстоятельствами: ограничение длины станционной площадки местными условиями, расположение основных парков, схема примыкания железнодорожных линий и путей необщего пользования, последовательность и продолжительность выполнения операций и т. д. Необходимо отметить, что в некоторых случаях в связи с местными условиями «управляемые» параметры, количество и длина приемо-отправочных путей, становятся «неуправляемыми» и не могут быть изменены. Технологические параметры, последовательность и продолжительность выполнения операций являются «неуправляемыми» при существующем техническом и технологическом оснащении.

Важно отметить, что разделение параметров на «управляемые» и «неуправляемые» является условным, поскольку взаимосвязь между ними динамична. Поэтому выбор оптимального соотношения технических и технологических параметров ЛПР может кардинально различаться в некоторых случаях.



**Рис. 6. Алгоритм определения оптимальных параметров работы станций**

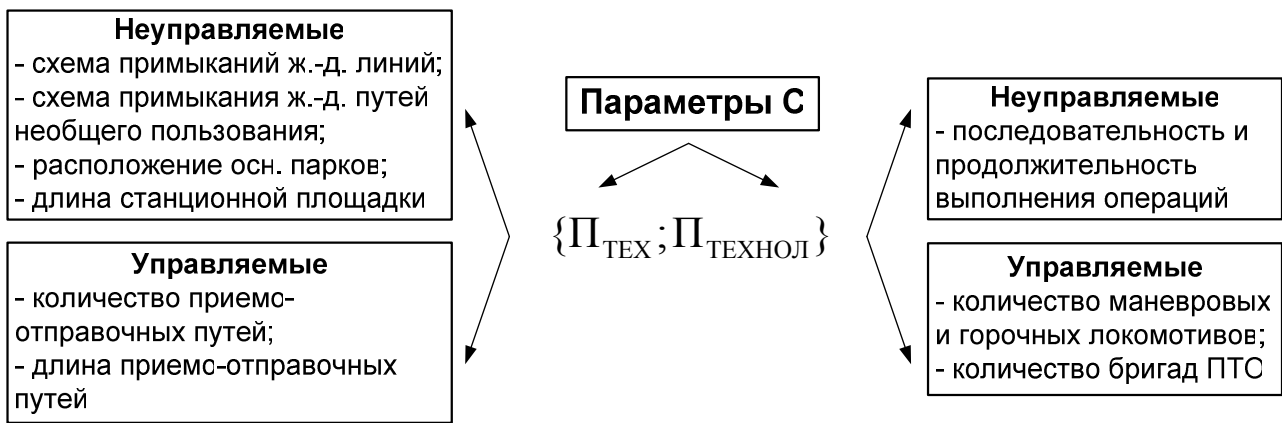


Рис. 7. Схема распределения параметров работы станций

Для увеличения пропускной и перерабатывающей способности технической станции в густонаселенном городе особое затруднение возникает при строительстве дополнительных технических средств. Поскольку нет места для расширения, необходимы огромные инвестиции из-за сносов существующих зданий и сооружений, выноса инженерных сетей и коммуникаций и т. д. Оптимальным решением для рассматриваемого варианта является увеличение штата работников ПТО, количества горочных и маневровых локомотивов при условии достаточной пропускной способности горловин. Меры для увеличения перерабатывающей способности станции в малонаселенном регионе будут кардинально отличаться. Ввод дополнительного квалифицированного штата работников на станции требует организации вахтового способа доставки работников. А для этого необходимо построить общежитие, прачечную и т. д. В этом случае каждый работник требует существенных капитальных затрат на благоустройство помимо заработной платы и доставки к месту работы и обратно.

Выбор оптимального соотношения технических и технологических параметров представлен в виде кривых безразличия на рис. 8. Каждая кривая соответствует одновременной работе одной, двух или трех бригад ПТО. При этом направление предпочтения соотношения путей и загрузки бригад ПТО для железнодорожных станций, расположенных в густонаселенном городе, является восходящим, а для железнодорожных станций, расположенных в малонаселенных регионах – нисходящим. Точки  $x'_1$  и  $x''_1$ ,  $x'_2$  и  $x''_2$ , обозначенные на кривых безразличия (рис. 8), характеризуют одинаковый объем работы, но имеют различное техническое и технологическое оснащение. Так, для варианта развития

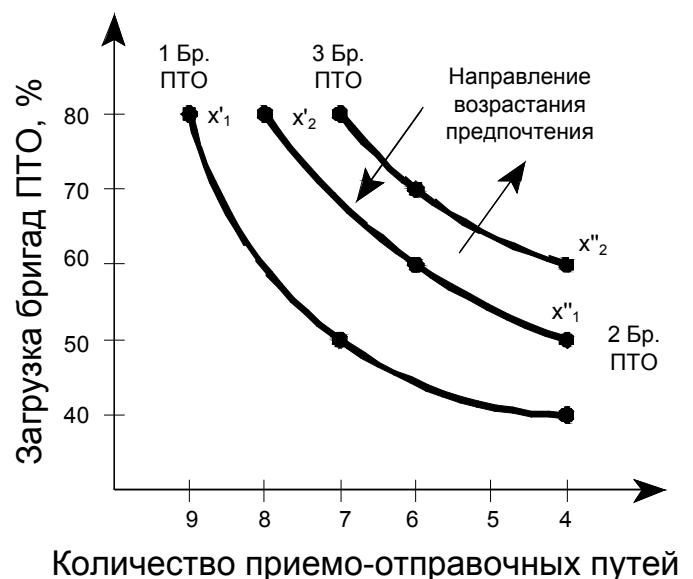


Рис. 8. Кривые безразличия

железнодорожных станций в густонаселенном городе предпочтительнее точки  $x_1''$ , чем  $x_1'$ , и  $x_2''$ , чем  $x_2'$ .

**Четвертая глава** посвящена определению оптимальной схемы этапного развития промышленных железнодорожных станций на основе метода динамического программирования.

Для установления оптимальной этапности развития станции в течение расчетного периода определяют ежегодные приведенные строительные и эксплуатационные расходы при переходе от одного года расчетного периода к следующему в случае неизменного технического оснащения станции или при изменении технического оснащения, связанном с увеличением ее перерабатывающей способности.

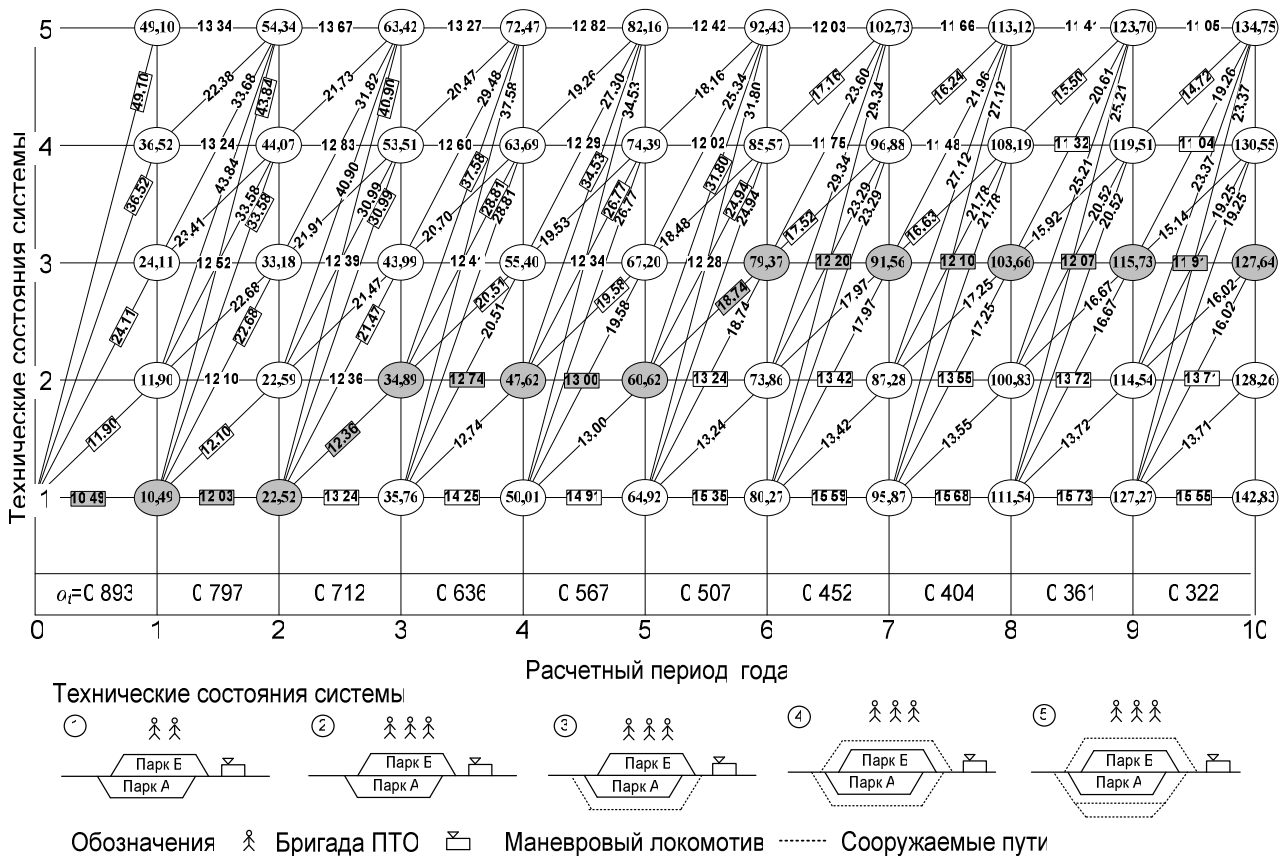
Решение этой задачи базируется на оптимизации этапности реконструкции станции в координатах «время – состояние». В качестве критерия эффективности оптимизации принят минимум суммы приведенных затрат, определяемых по общеизвестным формулам.

Задача делится на четыре части: подготовка исходных данных; пошаговый расчет критерия эффективности и определение условно-оптимальных переходов (шагом является временной период в один год); определение оптимального состояния в конце расчетного периода; установление оптимальной траектории реконструкции промежуточных станций участка во времени.

Метод динамического программирования обеспечивает получение варианта реконструктивных мероприятий с минимальной суммой приведенных строительных и эксплуатационных расходов и позволяющего учесть характер большинства переменных и имеющихся ограничений.

В работе был выполнен расчет для промышленных железнодорожных станций Ангарск, Ачинск, Красноярск, Назарово (ОАО «Восточно-Сибирский промышленный транспорт»). На рис. 9 представлена схема этапного развития промышленной железнодорожной станций Красноярск. Для определения наилучшего варианта развития рассмотренной станции приняты следующие варианты изменений: 1 – станция работает без изменений; 2 – ввод дополнительной бригады ПТО; 3 – строительство одного приемо-отправочного пути и ввод дополнительной бригады ПТО; 4 – строительство двух приемо-отправочных путей и ввод дополнительной бригады ПТО; 5 – строительство трех приемо-отправочных путей и ввод дополнительной бригады ПТО.

Для обработки возрастающих объемов перевозок, с целью минимизации приведенных расходов, необходимо: в течение первых двух лет работать с техническим оснащением по варианту 1 (исходная схема станции); к началу третьего года перейти на техническое оснащение по варианту 2 (вводится дополнительная бригада ПТО); к началу шестого года перейти на техническое оснащение по варианту 3 и продолжать работу до конца расчетного периода без изменений. Техническое оснащение 3-го варианта включает строительство одного пути и ввод дополнительной бригады ПТО (относительно исходного состояния работы станции). При этом минимальная сумма приведенных затрат составляет 127,64 млн руб., а общая экономическая эффективность от предложенных мероприятий – 15,19 млн за 10 лет.



**Рис. 9. Схема этапного развития промышленной железнодорожной станции Красноярск**

Оптимальный вариант развития промышленной станции Красноярск отмечен на графике серым цветом. Необходимо отметить, что любая другая этапность, отличная от оптимальной, будет иметь большую сумму приведенных расходов.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований решена актуальная задача управления и оптимизации технических и технологических параметров железнодорожных станций в зависимости от объема выполняемой работы. При этом получены следующие результаты:

1. Установлены законы распределения интервалов и длин грузовых поездов, поступающих на технические станции. По результатам проведенного анализа выявлено, что колебания интервалов поступающих грузовых поездов согласуются с показательным законом распределения, а распределение длин грузовых поездов согласуется с нормальным законом распределения.

2. На основе метода планирования эксперимента при использовании имитационной модели предложены аналитические зависимости для определения продолжительности задержек грузовых поездов по причине занятости бригад ПТО, занятости горючего локомотива или недостаточного количества приемо-отправочных путей. Созданная имитационная модель может быть ис-



пользована как информационно-управляющая система реального времени, позволяющая прогнозировать показатели работы промышленных железнодорожных станций в зависимости от подхода поездов и вагонов, обеспечения их локомотивами, наличия приоритетных поездов.

3. Установлены граничные значения величин вагонопотоков и загрузки технических элементов, при достижении которых экономически целесообразно принимать управляющее решение по улучшению технологии работы и технического оснащения станций. Поддержание загрузки основных элементов (путей, горки, локомотивов, бригад ПТО) на уровне не более 75–80 % позволяет оптимизировать значения основных показателей работы станций и уменьшает риск увеличения непроизводительного простоя поездов в непредвиденных ситуациях.

4. Разработанные схемы этапного развития промышленных железнодорожных станций позволили определить экономическую эффективность предложенных конструктивных и организационных изменений в размере 48,93 млн руб. в течение расчетного периода за 10 лет. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования использованы при определении оптимального штата работников ПТО и емкости путевого развития на промышленной сортировочной станции Ангарск (ОАО «Восточно-Сибирский промышленный транспорт»). Разработанная имитационная модель была использована при прогнозировании изменения работы промышленных станций Ачинск, Назарово, Красноярск (ОАО «Восточно-Сибирский промышленный транспорт»). Экономический эффект был получен за счет сокращения штата, рационального использования путевого развития и локомотивов, уменьшения задержек подвижного состава и составил 5 млн руб. в год.

**Основные положения диссертационного исследования опубликованы в следующих работах автора:**

*в изданиях, рекомендованных ВАК*

1. Котельников, С.С. Методика выбора оптимального соотношения штата работников ПТО и емкости путевого развития технических станций [Текст] / С.С. Котельников, А.Н. Иванков, Л.Н. Иванкова // Современные технологии. Системный Анализ. Моделирование. – Иркутск. 2011. – № 2 (30). – С. 150–155.

2. Котельников, С.С. Автоматизированный выбор параметров технико-технологической структуры развития промышленных станций [Текст] / С.С. Котельников, А.Н. Иванков, Л.Н. Иванкова // Современные технологии. Системный Анализ. Моделирование. – Иркутск. 2011. – № 4 (32). – С. 164–167.

3. Котельников, С.С. Алгоритм решения проблемной задачи соответствия технических и технологических параметров работы железнодорожных станций [Текст] / С.С. Котельников // Современные технологии. Системный Анализ. Моделирование. – Иркутск. 2011. – № 4 (32). – С. 228–231.

*свидетельство об официальной регистрации программных продуктов*

4. Котельников, С.С. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2011617982 «Автоматизированная система взаимодействия

элементов технических железнодорожных станций» / С.С. Котельников // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – Зарегистр. 12.10.2011.

*в других изданиях*

5. Котельников, С.С. Оптимизация размещения устройств локомотивного хозяйства на сортировочных станциях [Текст] / С.С. Котельников // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы Восьмой международной научно-практической конференции, 30 сентября – 2 октября 2009 г. – Владивосток: Изд-во ДВО Российской Академии транспорта, 2009. – С. 82.

6. Котельников, С.С. Оптимизация схем и емкости путевого развития при изменении выполняемых работ [Текст] / С.С. Котельников, Л.Н. Иванкова // Труды Тринадцатой научно-технической конференции КрИЖТ ИрГУПС. – Красноярск: Изд-во КрИЖТ, 2009. – С. 101–104.

7. Котельников, С.С. Основные направления и перспективы развития технических станций Сибири и Дальнего Востока [Текст] / С.С. Котельников, А.Н. Иванков, Л.Н. Иванкова // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы межвуз. научно-практической конференции, 12–15 октября 2009 г. Иркутск: в 2 т. – Иркутск: ИрГУПС, 2009. – С. 125–127.

8. Котельников, С.С. Основные параметры колебаний входящих поездопотоков на сортировочные станции [Текст] / С.С. Котельников // Актуальные проблемы развития транспортного комплекса: материалы V Всероссийской научно-практической конференции, 25–27 февраля 2009 г. – Самара: Изд-во СамГУПС, 2009. – С. 23–24.

9. Котельников, С.С. Совершенствование железнодорожной инфраструктуры для освоения поездопотоков в международном сообщении [Текст] / С.С. Котельников, Л.Н. Иванкова // Промышленная и экологическая безопасность на транспорте: межвуз. сб. науч. тр. – Чита: Изд-во ЗаБИЖТ, 2010. – С. 123–126.

10. Котельников, С.С. Имитационное моделирование работы станций [Текст] / С.С. Котельников // Современные проблемы транспортного комплекса России: межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. унт-та им. Г.И. Носова, 2011. – С. 82–86.

11. Котельников, С.С. Методика определения резерва необходимого количества бригад ПТО [Текст] / С.С. Котельников, Л.Н. Иванкова // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – Иркутск: ИрГУПС, 2011. – С. 53–57.

12. Kotelnikov, S. Algorithm reconstruction of railway stations by lengthening the treatment sites locomotives [Текст] / S. Kotelnikov, L. Ivankova, S. Darnansky // Problems and Prospects of Survey, Design, Construction and Exploiting of Northeast Asia Transport Systems: students and post-graduate students' works presented at the Second International Scientific-Applied Conference (Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, May 14, 2010). – Irkutsk: IrGUPS, 2010. – P. 69–71.