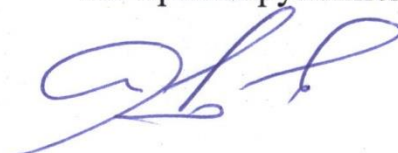


**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»**

(АО «ВНИИЖТ»)

На правах рукописи



МЕХЕДОВ Михаил Иванович

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ
СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОПУСКА ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОПОТОКОВ
НА ГРУЗОНАПРЯЖЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор Мугинштейн Л.А.

Москва - 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОПУСКА ПОЕЗДОПОТОКОВ НА ПРОТЯЖЕННЫХ ГРУЗОНАПРЯЖЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	11
1.1 Техническое нормирование и наличная пропускная способность	11
1.2 Современные научные исследования пропускных способностей железнодорожных линий.....	14
Выводы по главе 1.....	22
ГЛАВА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОПУСК ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ НА ГРУЗОНАПРЯЖЕННЫХ ЛИНИЯХ, НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЙ УЧАСТКОВОЙ СКОРОСТИ ГЛАВНОГО ХОДА ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ	24
2.1 Участковая скорость как важнейшая характеристика стабильного пропуска грузовых поездов.....	24
2.2 Оценка ключевых факторов по поездоучасткам основного направления железной дороги.....	26
2.2.1 Влияние размеров движения поездопотоков на участковую скорость....	26
2.2.2 Влияние фактора «сезонности» на участковую скорость.....	33
2.2.3 Влияние обеспечения локомотивами составов грузовых поездов на станциях смены локомотивов на участковую скорость.....	36
2.3 Сравнительный анализ степени влияния основных факторов на участковую скорость.....	45
Выводы по главе 2	56
ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ УЧАСТКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ	58

3.1 Организация стабильного пропуска транзитных грузовых поездов на направлении железной дороги с учетом технических и технологических особенностей работы технических станций и перегонов.....	58
3.2 Математическая модель для оценки рациональных показателей поездопотока в зависимости от числа приемоотправочных путей и времени их занятия.....	60
3.3 Статистическая оценка пропускной способности технической станции Карымская в условиях реальной эксплуатации.....	68
3.4 Определение лимитирующих элементов железнодорожного направления в стабильном пропуске поездопотоков.....	76
Выводы по главе 3.....	88
ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ПУНКТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ НА РАБОТУ СТАНЦИИ СМЕНЫ ЛОКОМОТИВОВ.....	90
Выводы по главе 4.....	99
ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ ПОЛИГОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОРГАНИЗАЦИЮ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА И СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОПОТОКА.....	101
Выводы по главе 5.....	113
ГЛАВА 6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ГАРМОНИЗАЦИИ РАЗМЕРОВ ПОЕЗДОПОТОКОВ И РЕАЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ.....	114
6.1 Статистический анализ потерь поездочасов на основном направлении Транссиба в границах Забайкальской железной дороги.....	114
6.2 Применение метода единичных расходных ставок к оценке увеличения эксплуатационных расходов от потерь поездочасов.....	119
6.3 Экономическая оценка мероприятий по стабилизации пропуска поездопотоков.....	122

Выводы по главе 6.....	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	132

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. На протяжении всего периода развития железнодорожного транспорта возникали системные проблемы, оказывающие значительное влияние на стабильное продвижение поездопотоков. В начале восьмидесятых годов были получены зависимости, показывающие, что с ростом интенсивности движения поездопотока уменьшается скорость его продвижения, увеличивая потребность в локомотивах и локомотивных бригадах и приводя к росту себестоимости перевозок. После распада Советского Союза, вследствие потери экономических связей между регионами и снижения объемов производства, на сети произошло повсеместное снижение объемов перевозок. Первоочередными стали вопросы сокращения расходов на содержание незагруженных объектов инфраструктуры и невостребованного подвижного состава. Исследования по проблемам использования пропускных и провозных способностей линий в определенной степени потеряли свою актуальность.

Рост экономики РФ в период 2000-2010 гг. привел к увеличению объемов перевозок на сети железных дорог. Переориентация экономических связей на мировые рынки, передача инвентарного парка вагонов в операторские компании привела к изменениям структуры грузопотоков. Одной из ключевых проблем сегодня является несоответствие уровня транспортного обеспечения и развития железных дорог Дальнего Востока и Восточной Сибири предъявляемому грузопотоку. В совокупности это привело к возникновению проблем, которые наблюдались в советское время в период пиковых перевозок, но по сравнению с тем временем качественно изменились условия движения, в частности: повышены весовые нормы, длины поездов, увеличена протяженность участков обращения локомотивов и локомотивных бригад, изменена технология ремонта объектов инфраструктуры.

В диссертационной работе проведено исследование основных факторов, влияющих на стабильное продвижение потока грузовых поездов на железнодорожном направлении, предложена методология оценки степени их влияния с использованием результатов исследований данной проблематики

представителями российской транспортной науки.

В условиях ограниченности финансовых ресурсов на развитие инфраструктуры железных дорог для решения задач обеспечения возрастающих требований экономики страны, методология оценки факторов влияния на стабильное продвижение поездов, разработка комплексных и точечных мер по их устранению или минимизации влияния на перевозочный процесс, повышение реализуемых пропускной и провозной способностей отдельных участков и направлений имеют высокую актуальность и позволят обеспечить освоение дополнительных объемов грузоперевозок и снижение себестоимости перевозок.

Целью диссертации является разработка методики по определению основных факторов, определяющих стабильный пропуск грузовых поездопотоков на протяженных железнодорожных линиях, и выработка мер по снижению влияния факторов, отрицательно влияющих на перевозочный процесс.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **задачи**:

- разработка методики по определению ключевых факторов влияния на стабильный пропуск грузовых поездов и метода экономической оценки мероприятий по стабилизации перевозочного процесса;

- установление статистических и аналитических зависимостей между участковыми скоростями движения поездов, количеством и временами занятости приемоотправочных путей (ПОП) на технических станциях, размерами движения грузовых поездов, количеством локомотивов;

- выделение ключевых факторов, влияющих на стабильное продвижение поездопотоков;

- оценка влияния смены локомотивов на работу станции с учетом технико-технологического обеспечения пунктов технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ) и управленческих решений диспетчерского аппарата при организации обращения локомотивов на полигоне.

Объектом исследования является железнодорожная линия Транссиба в границах Забайкальской железной дороги.

Предметом исследования являются параметры процесса продвижения поездопотоков, их взаимодействие и закономерности изменения.

Методология и методика исследования. Исследования базируются на известных теориях организации перевозочного процесса, тягового обеспечения поездопотоков, экономического анализа. Диссертационная работа выполнена на основе факторного анализа изменений статистических параметров работы железнодорожного направления, методов математической статистики и математического анализа. Используются работы российских ученых в области управления перевозочным процессом: В.И. Апатцева, А.М. Баранова, А.П. Батурина, А.Ф. Бородина, П.С. Грунтова, Ю.В. Дьякова, В.Е. Козлова, П.А. Козлова, В.А. Кудрявцева, Д.Ю. Левина, А.М. Макарошкина, В.П. Могилы, В.И. Некрашевича, А.Т. Осьминина, Ю.О. Пазойского, Е.А. Сотникова, Э.Д. Фельдман, И.Н. Шапкина, В.А. Шарова и др.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

1) проведенный анализ статистических и аналитических данных позволил определить влияние различных факторов на стабильное движение грузовых поездов с учетом процессов взаимодействия технических станций и направлений крупного грузонапряженного полигона железнодорожной сети;

2) разработанная методика по выявлению «узких мест» позволяет определять мероприятия по стабилизации продвижения поездопотоков для грузонапряженных полигонов железнодорожной сети, характеризующихся:

- разнотипностью грузового локомотивного парка с дифференциацией весовых норм поездов в границах одного участка обращения локомотивов;

- ведением ремонтно-путевых работ по технологии суточных закрытий главных путей перегонов и в «окна» длительностью 10 – 12 ч;

- протяженностью участков работы локомотивных бригад 350 – 400 км;

3) установлены статистические и аналитические зависимости, в которых взаимоувязаны основные качественные и количественные показатели работы железнодорожной линии: участковая скорость, размеры движения, межпоездные интервалы, количество приемоотправочных путей на технических станциях,

время занятия путей транзитными грузовыми поездами в увязке с процессами технического обслуживания поездных локомотивов;

4) установлен определяющий фактор влияния на пропускную способность направления – обеспеченность поездопотока локомотивами на станции стыкования участков их обращения, определен рациональный резерв локомотивов на станции их смены;

5) разработаны методические принципы оценки технологического эффекта вариантов управления тяговыми ресурсами путем математического моделирования динамики развития поездной ситуации на грузонапряженных полигонах железнодорожной сети.

Практическая ценность работы заключается:

- в разработке методики по определению основных факторов, определяющих стабильный пропуск грузовых поездопотоков на протяженных железнодорожных линиях, апробированной на особо грузонапряженной линии Транссиба в границах Забайкальской железной дороги;

- в разработке системы мероприятий, направленных на дальнейшую интенсификацию перевозочного процесса на грузонапряженной линии Транссиба в границах Забайкальской дороги, что позволило получить положительную динамику по выполнению количественных и качественных показателей Забайкальской дороги.

Практическая реализация работы заключается:

- в применении результатов и выводов диссертации при разработке технологического процесса управления тяговыми ресурсами Восточного полигона, а также технологических и организационных мер, направленных на развитие полигонных технологий;

- в разработке управленческих решений по совершенствованию пропуска поездопотоков диспетчерским аппаратом Забайкальской железной дороги на уровне поездных и локомотивных диспетчеров, старших диспетчеров по районам управления и по дороге, что позволило повысить уровень эффективности диспетчерского управления перевозочным процессом, подтвердить теоретические

положения выполненной работы и получить существенный экономический эффект.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные положения диссертации обсуждены и одобрены: на международной научно-практической конференции «Проблемы трансфера современных технологий в экономику Забайкалья и железнодорожный транспорт» (г. Чита, 2011 г.), на ученом совете ОАО «ВНИИЖТ» «Создание новой технологии построения суточного прогнозного графика на основе системы «Эльбрус»» (г. Москва, 2012 г.), на заседаниях кафедры «Управление эксплуатационной работой» Забайкальского института инженеров железнодорожного транспорта (г. Чита, 2013-14 гг.), на заседании кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Московского государственного университета путей сообщения (г. Москва, 2015-16 гг.).

На защиту выносятся полученные соискателем следующие основные научные положения и результаты:

- методика по выявлению «узких» мест и ранжированию факторов влияния на стабильное продвижение поездопотоков железнодорожной линии, основанная на оценках изменений участковой скорости по времени и по отдельным участкам железных дорог;

- аналитические соотношения между основными качественными и количественными показателями работы железнодорожной линии: участковой скоростью, размерами движения, количеством приемо-отправочных путей, временем их занятия, межпоездными интервалами;

- определенная в качестве основного фактора обеспеченность поездопотока локомотивами на станции их смены – станции Карымская, влияющая на снижение пропускной способности Забайкальской железной дороги;

- установленная величина рационального резерва локомотивов, необходимая на станции их смены;

- оценка влияния управленческих решений по организации работы

локомотивного парка на показатели железнодорожного направления;

- существенная экономическая эффективность разработанных мероприятий по интенсификации перевозочного процесса на железнодорожной линии.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 6-ти работах, из них в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ – 3 работы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, библиографического списка литературы. Основная часть диссертации составляет 127 страниц текста, 59 рисунков, 18 таблиц, список использованной литературы, включающий 117 наименований.

ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОПУСКА ПОЕЗДОПОТОКОВ НА ПРОТЯЖЕННЫХ ГРУЗОНАПРЯЖЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

1.1 Техническое нормирование и наличная пропускная способность

Существует глубоко продуманный и организованный порядок работы сети железных дорог, который обеспечивает стабильный пропуск поездопотоков по участкам и направлениям железных дорог. Этот порядок обусловлен наличием комплекса нормативных документов, включающего Правила технической эксплуатации железных дорог, инструкции и указания министерства транспорта РФ и ОАО «РЖД». Среди них выделим инструкции: по движению, по сигнализации, по расчету пропускной способности, по составлению графика движения поездов, по расчету плана формирования, по определению технических норм эксплуатационной работы, по разработке технологических процессов работы станций и направлений железных дорог, а также приказы и инструктивные указания руководящих органов. В соответствии с этим порядком движение поездопотоков осуществляется на инфраструктуре участков и направлений железных дорог с использованием парков локомотивов и вагонов, находящихся в распоряжении ОАО «РЖД» и операторов подвижного состава.

Важнейшими внешними факторами, влияющими на загруженность железнодорожной сети, являются: объемы грузов, предъявляемых к перевозкам, мощность и производительность пунктов по погрузке, выгрузке вагонов, доставляемых по железной дороге.

С учетом принятого порядка организации движения и прогнозов предъявления грузов к перевозке и с целью обеспечения выполнения необходимого объема перевозок в среднем в каждые сутки при рациональном использовании технических средств и ресурсов выполняется техническое нормирование на предстоящий месяц.

При этом определяется такой важнейший количественный показатель, как необходимые суточные размеры движения по участку, а также связанные с этим расчетные качественные показатели, включающие техническую и участковую скорости, оборот вагона, суточные пробеги и производительность локомотивов.

На основе технических норм осуществляется оперативное суточное планирование и разрабатываются сменные планы. Такой комплексный подход к организации движения обеспечивает достижение главной цели — пропуск поездопотоков по участкам и направлениям железных дорог с заранее спрогнозированными количественными и качественными показателями перевозочного процесса при условии соблюдения гармоничного соответствия требований к объемам перевозимых грузов, размерам движения грузовых поездов, скоростям их движения с техническим и технологическим обеспечением перевозочного процесса на железных дорогах.

В Инструкции по расчету пропускных способностей [36] дано понятие «результативной» пропускной способности как наименьшей величины из рассчитанных наличных пропускных способностей перегонов, станций, устройств тягового электроснабжения, деповских и экипировочных устройств, устройств вагонного хозяйства. При анализе складывающихся на железных дорогах эксплуатационных ситуаций с определенной степенью приближения можно ограничиться двумя интегральными показателями: пропускной способностью перегонов и пропускной и перерабатывающей способностью станций.

При этом возможности тягового электроснабжения учитываются при расчетах величин минимально допустимых межпоездных интервалов, а возможности устройств локомотивного и вагонного хозяйств в значительной степени будут учтены при определении времени на техническое и технологическое обслуживание поездов на станциях.

Расчетная пропускная способность станций является функцией большого количества технических и технологических факторов. В первом приближении при сравнительных оценках пропускных способностей парков приема и отправления грузовых поездов без переработки можно определять расчетную пропускную

способность станции по двум переменным: числу путей в парках приема и отправления и затратам времени на прием, отправление, техническое и технологическое обслуживание поездов на станции. Расчет наличной пропускной способности железнодорожного участка должен выполняться в соответствии с Инструкцией [36] не реже одного раза в 5 лет. При этом учитываются поезда установленного веса и длины, которые могут быть пропущены по этому участку за сутки в зависимости от его технической оснащенности и принятого способа организации движения поездов.

Результаты таких расчетов наличной пропускной способности и принятые при этом оценки (допущения) расчетных параметров для участка железной дороги, зафиксированные в соответствующих формах ЦД, ЦТ, ЦЭКР, должны действовать в течение достаточно длительного времени. В реальной эксплуатации, как отмечалось ранее, параметры, определяющие пропускную способность перегонов и станций, могут существенно меняться, и «реальная» пропускная способность участка железной дороги при этом может существенно уменьшаться. Это необходимо учитывать при организации устойчивого пропуска поездопотоков на грузонапряженных направлениях сети железных дорог. С учетом этого в настоящее время на основании указания ОАО «РЖД» расчет наличной пропускной способности производится один раз в год.

Решение таких задач усложняется в связи с тем, что даже при относительно небольшом ежегодном увеличении объема перевозок, например, на 3%, через 5 лет ежегодный объем перевозимых грузов увеличится на 16%, а через 10 лет — на 34%.

При таком существенном увеличении объемов перевозок усложнятся условия эксплуатации, снизится наличная пропускная способность участков железных дорог и возникнет необходимость оценки «реальной» пропускной способности. Комплексными признаками снижения пропускной способности участков и технических станций является уменьшение участковой и технической скоростей движения грузовых поездов. При этом отметим, что в случае если «реальная» пропускная способность станции меньше размеров поездопотока,

предъявленного к обращению по рассматриваемому участку железной дороги, то перед такой станцией поезда не смогут следовать по ниткам графика по зеленым сигналам светофоров, а образуют очередь, которая существенным образом определит общее снижение участковой скорости.

Таким образом, можно ожидать, что анализ изменений участковой скорости по основным направлениям и участкам железной дороги позволит определить и локализовать «узкие места» «реальной» пропускной способности с последующим выявлением причин снижения пропускной способности и выработкой мер по нормализации эксплуатационной обстановки и стабилизации пропуска грузовых поездов. Изменения участковой скорости интегрально отражают влияние управляющих действий, организационных мероприятий, работы технических средств на стабильность пропуска поездопотоков.

В расчетах эксплуатационных показателей при техническом нормировании величина участковой скорости определяется по данным нормативного графика движения. С учетом отмеченного ранее влияния на стабильность движения поездов ряда факторов при анализе складывающихся эксплуатационных ситуаций «реальная» участковая скорость определяется по данным графиков исполненного движения.

В нормальных (расчетных) режимах работы протяженных направлений железной дороги участковая скорость — это устойчивая величина, изменяющаяся в единицах процентов. Большие изменения участковой скорости являются сигналом для выработки мер по стабилизации эксплуатационной ситуации.

1.2 Современные научные исследования пропускных способностей железнодорожных линий

В современных условиях функционирования железнодорожного транспорта серьезное внимание уделяется вопросам стабильной работы транспортной сети, на первый план выходят вопросы ритмичности, точности по срокам, конкурентоспособности среди остальных видов транспорта,

привлекательности для клиента – потребителя транспортных услуг, а также снижения себестоимости перевозок и доли транспортной составляющей в конечной стоимости производимой в России продукции. Современными учеными определено, что наиболее приемлемой и отвечающей вышеперечисленным требованиям является концепция движения поездов по расписанию. Основные системные исследования по данному вопросу ученых В.А. Шарова, А.Ф. Бородин, В.В. Панина, В.И. Некрашевича, Е.А. Сотникова, Н.В. Кондрахиной, П.А. Козлова легли в основу Комплексной Интегрированной технологии управления движением грузовых поездов по расписанию [44], утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 9 июля 2012 г. № 1360р. В [44] определено, что *«целью разработки и внедрения Интегрированной технологии организации движения поездов по расписанию является повышение качества транспортного обслуживания, ускорение продвижения грузо- и вагонопотоков, улучшение качественных показателей использования подвижного состава и достижение целевых экономических параметров производственного блока холдинга ОАО «РЖД». ... технология рассматривается как основной инструмент координации эксплуатационной деятельности ОАО «РЖД» с разработкой плана формирования и графика движения грузовых поездов и их актуализацией на основе прогнозно-планирующих систем».*

И.Н. Шапкин в работе [111], посвященной новой системе планирования перевозок, отмечает: *«организация движения грузовых поездов по расписанию и поэтапный расчет плана формирования позволят значительно улучшить показатели работы железнодорожного транспорта и повысить прибыльность холдинга «РЖД».*

Серьезное внимание уделено проблемам, возникшим в ходе перехода вагонных парков в собственность крупных операторских компаний. А.Ф. Бородин в [20] пишет: *«увеличение количества собственников грузовых вагонов, самостоятельно оперирующих ими и регулирующих свои вагонные парки, ведет к разбалансированности загрузки. Если не разрабатывать специальных решений, то дальнейший рост доли частных вагонов не только сделает недостижимым*

эффективное использование пропускной способности сети, но и практически приведет к остановке перевозочного процесса».

Существенным развитием этой технологии явилась разработка специалистами АО «ВНИИЖТ» Л.А. Мугинштейном, С.А. Виноградовым, В.Ю. Кирякиным, А.Ю. Афиногеновым и О.В. Ляшко аппаратно-программного комплекса ЭЛБРУС, который на основе методов имитационного моделирования позволяет с большой степенью автоматизации разрабатывать варианты графики движения поездов по энергооптимальным расписаниям, с учетом плановых и внеплановых «окон» для ремонта и содержания объектов инфраструктуры, предупреждений об ограничении скорости движения поездов и т.д. Учеными в [35] рассмотрены возможности применения данного комплекса, новые методические подходы для объективного определения пропускной способности участков и направлений железных дорог, построения полного графика движения по заданным исходным данным с учетом действующих ограничений, выбора участковой скорости в зависимости от заполнения пропускной способности, прогнозирования освоения перспективных поездопотоков.

Вопросы обеспечения стабильного пропуска поездов с ростом интенсивности движения широко освещены в научных исследованиях советского периода времени. Рост экономики страны с освоением новых месторождений, развитием производственных кластеров, укреплением межрегиональных экономических связей требовал от железнодорожного транспорта соответствующего развития (электрификации магистрали, строительства вторых, третьих путей, развития станций и узлов). При этом кардинальное увеличение пропускных и провозных способностей требовало значительных ресурсов и было ограничено временными рамками. Поэтому на отдельных направлениях происходила интенсификация движения за счет увеличения числа поездов в обращении, при этом возникли сложности и сбои движения при пропуске поездов. Исследование факторов влияния на стабильность продвижения поездопотоков на грузонапряженных направлениях всегда являлось актуальным. Еще в 70-е годы доктор технических наук Н.А. Воробьев писал [26]: «научно-

исследовательская работа в области эксплуатации железных дорог подчинена главным задачам: «...обеспечить дальнейшее увеличение пропускной и провозной способности железных дорог на грузонапряженных направлениях, повышение перерабатывающей способности сортировочных и грузовых станций...». Решение указанных задач может быть достигнуто реконструкцией и развитием железнодорожной сети, а также осуществлением комплекса мер по интенсификации перевозочного процесса. Все это требует дальнейшего развития научных исследований с целью ускорения научно-технического прогресса во всех отраслях железнодорожного транспорта, повышения уровня его эксплуатационной работы по освоению непрерывно растущих перевозок при значительном улучшении качественных показателей и наименьших затратах материальных и трудовых ресурсов». Учеными советского периода развития железнодорожной отрасли проделана значительная исследовательская работа по вопросам пропускной и провозной способности железнодорожных линий, особенностей работы грузонапряженных направлений, определены математические зависимости параметров пропускной способности, разработаны соответствующие методики расчета. Большой вклад внесли ученые: А.М. Баранов, Э.Д. Фельдман, П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А.М. Макарович, В.Е. Козлов, В.И. Некрашевич, Е.А. Сотников и др.

В работе [58] А.М. Макаровича, Ю.В. Дьякова в 80-е годы отмечалось: *«...некоторые направления сети испытывают значительную напряженность в работе, не имеют необходимых резервов пропускной способности. Это нарушает ритмичность транспортного обслуживания народного хозяйства, ухудшает качество работы транспорта. Естественно, что в таких условиях проблему развития и использования пропускной способности железных дорог следует решать не только усилением мощности линий, что требует значительных капитальных вложений, но в первую очередь – поиском новых технологических решений, изысканием резервов в каждом звене железнодорожного транспорта.»* Анализ многолетнего опыта эксплуатации железных дорог показывает, что на наиболее загруженных участках и

направлениях железных дорог периодически возникают ситуации, характеризующиеся тем, что при увеличении объема выполняемой работы – перевозимых тонно-км брутто, начиная с определенного момента, темпы освоения роста объема перевозок замедляются, количественные и качественные показатели эффективности перевозочного процесса снижаются.

Опыт работы отечественных железных дорог в период с середины 1960-х до 1980-х годов после коренного технического перевооружения – перехода на электрическую и тепловозную тягу, когда были созданы значительные резервы пропускной и провозной способностей, показал, что освоение постоянно растущих объемов перевозок при достижении высокого уровня грузонапряженности (около 100 млн. ткм/км) за счет увеличения числа поездов в обращении приводит к дисбалансу между необходимым объемом перевозок и провозной способностью железных дорог из-за ограничения пропускных способностей участков и технических возможностей станций. Так в 1982 году по сравнению с 1975 годом участковая скорость снизилась на 2,8 км/ч, оборот вагона замедлился на 1,1 суток, себестоимость перевозок возросла на 27%, значительно замедлился рост производительности труда.

Анализ результатов освоения возрастающих объемов перевозок (1960–1980 гг.) на Восточно-Сибирской, Южно-Уральской, Куйбышевской и ряде других дорог позволил получить конкретные зависимости показателей качества перевозочного процесса от уровня использования пропускных способностей.

Изучение закономерностей изменения участковой скорости при увеличении размеров движения и достижении высокого уровня заполнения пропускной способности было начато еще в начале 80-х годов в теоретических и экспериментальных исследованиях доктора технических наук Э.Д. Фельдман [100, 101, 102]. В этих работах доказано, что при увеличении коэффициента заполнения пропускной способности участков железных дорог выше $0,7 \div 0,8$ начинается существенное снижение участковой скорости до 0,6 от расчетной при полном заполнении пропускной способности. Такая зависимость обусловлена, в основном, взаимовлиянием поездов в потоке. В работе [100] показано, что при

увеличении числа поездов в обращении увеличиваются число остановок и их продолжительность для обгонов и разъездов поездов между участковыми станциями.

Кроме этого в большом числе работ внимание было уделено вопросам надежной работы технических средств и их влиянию на пропускную способность железнодорожных линий. В работе [41] В.Е. Козлов отмечал, что *«... по мере увеличения размеров движения отрицательное влияние отказов технических средств на величину участковой скорости грузовых поездов существенно возрастает. Так на однопутных и двухпутных линиях при заполнении пропускной способности на 60-65% участковая скорость из-за отказов технических устройств снижается на 5-8 %, а при использовании пропускной способности на 80-85% – на 11-15%»*. В результате этих исследований были сделаны выводы, что отказы технических средств – локомотивов, вагонов, пути, СЦБ и др. осложняют эксплуатационную работу направлений, особенно грузонапряженных линий, снижают их количественные и качественные показатели, ограничивают их маневренность. Это влечет за собой серьезные сбои в движении и дестабилизирует перевозочный процесс. Поэтому, по мнению В.Е. Козлова: *«... в условиях высокой грузонапряженности линий повышение надежности технических устройств – одно из важнейших мероприятий по улучшению эксплуатационной работы железных дорог. Для повышения уровня надежности технических устройств необходимо совершенствовать систему их технического обслуживания, разработать дифференцированные в зависимости от грузонапряженности показатели содержания и ремонта технических устройств, условия механизации и материально-технического снабжения предприятий транспорта решающих направлений сети железных дорог. Особенности эксплуатации грузонапряженных железнодорожных линий должны в полной мере учитываться при проектировании и изготовлении новых технических устройств»*. Благодаря исследованиям В.Е. Козлова в расчет наличной пропускной способности введен понижающий коэффициент - коэффициент надежности технических средств α_n , который учитывает влияние

отказов технических средств на пропуск поездопотоков. Согласно [27] значение α_n колеблется в диапазоне 0,86 - 0,98 для двухпутных линий и 0,87 - 0,98 – для однопутных.

А.М. Макарович, Ю.В. Дьяков [58] рассмотрели проблемы улучшения использования пропускной способности и оптимизации ее развития. В их работах отмечалось, что пропускная способность линии – это результат сложного взаимодействия работы перегонов, технических станций и локомотивов. Были рассмотрены понятия наличной технической мощности дороги, под которой понималась способность ее элементов пропускать определенное количество грузов и пассажиров. При этом определено понятие – реальная пропускная способность линии, как *«результат сложного взаимодействия участков, технических станций, системы тягового обеспечения и содержания постоянных устройств»*. Ученые писали, что: *«...наличную пропускную способность линии, рассчитываемую в соответствии с официальными документами, реализовать можно лишь условно»*. Данные представления находят подтверждение и в настоящее время. Необходимо учитывать годовые объемы ремонта инфраструктуры, принятые технологии ремонта, обеспечение размеров движения тяговыми ресурсами – локомотивами и локомотивными бригадами, технологические процессы работы технических станций, а также уровень диспетчерского руководства.

Причинами снижения пропускной способности железнодорожной линии являются: невозможность соблюдения межпоездных интервалов из-за взаимного влияния грузовых поездов в пакетах, снижение скорости, а, соответственно, и рост допустимых межпоездных интервалов при приеме на технические станции, влияние предоставляемых «окон» для ремонта и содержания объектов инфраструктуры. В [58] отмечается, что *«из-за влияния режимов следования поездов друг за другом реализуемые межпоездные интервалы на перегонах заметно превышают расчетные, наиболее жестко ограничивают межпоездной интервал условия входа поездов на технические станции. Кроме того, уменьшение межпоездных интервалов влияет на режимы энергоснабжения»*

электрифицированных линий». В [58] детально проработана техническая сторона вопроса, определено влияние остановки поездов перед техническими станциями на увеличение числа остановок вслед идущих поездов, времён их задержки в зависимости от величин межпоездных интервалов. Кроме этого рассмотрен вопрос влияния числа приемоотправочных путей на время задержки поездов перед техническими станциями. Сделаны выводы, что *«на линии, оборудованной автоблокировкой с 8-минутными и более расчетными интервалами, замедление движения поездов на подходах к станции практически не влияет на последующие поезда, они подходят к светофору, когда на нем уже горит зеленый огонь. При меньших значениях расчетного межпоездного интервала снижение скорости на подходах к станции существенно влияет на движение последующих поездов»*. Авторы считали, что время обслуживания поездов соответствует нормативам, а оценка изменений эксплуатационной ситуации была проведена через межпоездной интервал – 6 минут. В диссертационной работе показано, что это не всегда так.

Кроме этого профессором Е.А. Сотниковым в 80-е годы в общем виде была обозначена зависимость роста простоев поездов на станциях при увеличении вагонооборота. В работе [95] он отмечает: *«Задержки поездов по неприему вызываются нарушением рационального соотношения между вместимостью путевого развития и размерами вагонного парка на сортировочных и участковых станциях, т.е. когда из-за несвоевременной подготовки поездов, задержки вывоза готовых составов из-за отсутствия или неудовлетворительного регулирования локомотивов и локомотивных бригад, недостаточной выгрузочной способности грузовых станций и по другим причинам вагонный парк, находящийся на технической станции, возрастает и его величина перестает соответствовать длине станционных путей. При этом затрудняется соблюдение принятой технологии маневровой работы, увеличивается время нахождения вагонов на станции»*. Исследования, проведенные в рамках диссертационной работы, подтвердили выводы Е.А. Сотникова, при этом впервые получены математические модели,

связывающие основные параметры работы железнодорожных направлений: участковую скорость, размеры движения, время простоя поездов на станции, количество приемоотправочных путей, межпоездные интервалы при пропуске грузовых поездов.

При этом следует учитывать, что в советский период времени установленные нормы массы и длины поездов были существенно меньше, чем в последнее время. Существенно изменились нормативы времени на проведение технологических операций с поездами, технологии ремонта и содержания инфраструктуры, технологии управления тяговыми ресурсами.

В период спада объема перевозок в 90-ые годы из-за экономии финансовых ресурсов происходило значительное сокращение объектов железнодорожной инфраструктуры. В границах Забайкальской железной дороги с 1991 по 2003 годы было закрыто более 30 железнодорожных станций, демонтированы парки станций, приемоотправочные пути, стрелочные переводы. Проведена работа по удлинению: плеч обращения локомотивных бригад, участков обращения локомотивов, гарантийных плеч технического обслуживания вагонов. Это привело к изменению технологических и технических параметров железнодорожных направлений. Изменилась «наличная» пропускная способность. В связи с этим исследования пропускных и провозных способностей, факторов, влияющих на стабильное продвижение поездов, выполненные в предыдущие годы, требуют определенной степени актуализации с учетом современных условий.

Выводы по главе 1

Советскими и российскими учеными определены основные зависимости для расчета пропускных способностей железнодорожных направлений. Отмечено, что при заполнении пропускных способностей линии ухудшаются качественные показатели ее работы. Проведены значительные работы по определению факторов, влияющих на стабильное продвижение поездов. К ним можно отнести:

надежность работы технических средств, взаимное влияние поездов в потоке, замедление входящего потока поездов на техническую станцию и т.д. При этом следует отметить, что часть системных вопросов сформулирована в общем виде без определения математических зависимостей параметров железнодорожных линий, взаимовлияния ее основных элементов (перегон, техническая станция).

В современных условиях работы железнодорожного транспорта, с учетом изменений структуры поездопотока, весовых норм и длины поездов, увеличений участков обслуживания локомотивами и локомотивными бригадами, повсеместного перехода на верхнее строение пути с железобетонным основанием, капитальный и текущий ремонт которого требует большего количества «окон», научные исследования на тему пропускных способностей железнодорожных линий требуют определенной степени расширения и актуализации в части выделения дестабилизирующих факторов на грузонапряженных направлениях.

ГЛАВА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОПУСК ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ НА ГРУЗОНАПРЯЖЕННЫХ ЛИНИЯХ, НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЙ УЧАСТКОВОЙ СКОРОСТИ ГЛАВНОГО ХОДА ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

2.1 Участковая скорость как важнейшая характеристика стабильного пропуска грузовых поездов

Согласно [1] *«участковая скорость является одним из важнейших технико-экономических показателей качества перевозочного процесса. Она выражает среднюю скорость движения поездов между станциями технического осмотра составов и смены локомотивных бригад»*. Изменения участковой скорости интегрально отражают влияние управляющих действий, организационных мероприятий, работы технических средств на стабильность пропуска поездопотоков. Это следует из соотношения:

$$v_{\text{уч}} = \frac{\sum N_i L_i}{\sum N_i t_{\text{уч},i}}, \quad (2.1)$$

где N_i — число грузовых поездов в обращении на участке железной дороги;

L_i — пробег i -го поезда по участку, км;

$t_{\text{уч},i}$ — время следования i -го поезда по L_i , ч;

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

В числителе выражения (2.1) — общий пробег поездов, поезде-км, в знаменателе — поезде-часы на участке.

В [27] установлено, что от участковой скорости зависит оборот вагона и потребность подвижного состава для выполнения заданного показателя объема перевозок. В [1, 27] определено, что по разрабатываемым графикам устанавливается нормативная участковая скорость, а по графикам исполненного движения — выполненная участковая скорость. При этом в полной мере раскрыты факторы влияния на нормативную участковую скорость через коэффициент

участковой скорости β_T , который является отношением участковой скорости к технической и зависит: от размеров движения грузовых и пассажирских поездов, от соотношения их скоростей движения, от частоты расположения отдельных пунктов, от станционных интервалов. Отмечено, что участковая скорость зависит от степени использования пропускной способности линии.

Выполненная участковая скорость – это показатель реальных условий эксплуатации железнодорожной линии в целом или отдельных её поездоучастков. Она определяет качество эксплуатационной работы и влияет, кроме оборота вагона, отмеченного выше, на:

- маршрутную скорость движения поездов и сроки доставки грузов;
- на потребность в тяговых ресурсах.

Обратимся к тяговым ресурсам. На основании нормативной участковой скорости рассчитываются время оборота локомотивной бригады и коэффициенты потребности локомотивов на поездоучастках, которые используют в расчетах требуемого парка локомотивов и численности локомотивных бригад на соответствующие размеры движения. Уменьшение участковой скорости приводит к увеличению времени оборота локомотивных бригад и росту значений коэффициентов потребности локомотивов на одну пару поездов. Это, соответственно, приводит к увеличению эксплуатационных расходов на оплату локомотивных бригад, в том числе часов сверхурочной работы, и на содержание дополнительного парка локомотивов. Значительное уменьшение участковой скорости может привести к дефициту локомотивных бригад или локомотивов на установленные размеры движения и, соответственно, к серьезным сбоям в продвижении поездопотоков.

В нормальных (расчетных) режимах работы протяженных направлений железной дороги $v_{уч}$ — устойчивая величина, изменяющаяся в единицах процентов. Как уже отмечалось, большие изменения участковой скорости являются сигналом для выработки мер по стабилизации и исправлению эксплуатационной ситуации.

2.2 Оценка ключевых факторов по поездоучасткам основного направления железной дороги

2.2.1 Влияние размеров движения поездопотоков на участковую скорость

В качестве объекта исследования выбрано двухпутное направление в границах Забайкальской железной дороги от станции Петровский Завод до станции Архара протяженностью 2295,1 км. Полигон дороги на данном направлении составляет 24,7% от всей Транссибирской магистрали (протяженность 9298,2 км) и 31,9% от всех его участков, отнесенных согласно [62] к категории особо грузонапряженных железнодорожных линий или 20% от всех линий сети данной категории (см. рисунок 2.1).

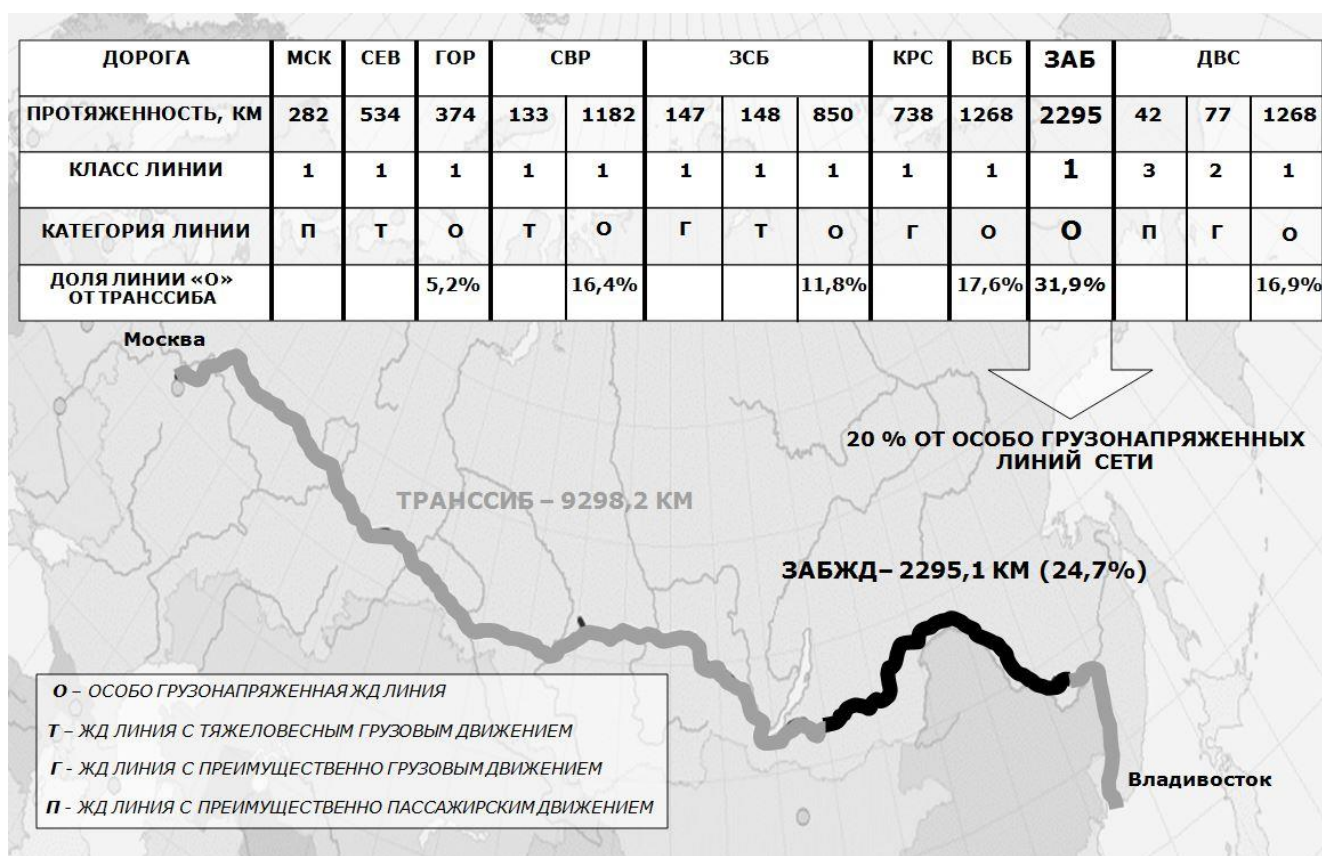


Рисунок 2.1. Доля Забайкальской железной дороги от протяженности Транссибирской магистрали.

На диаграмме (рисунок 2.2) показан среднесуточный объем работы и грузонапряженность железных дорог сети по итогам 2011 г. Забайкальская

железная дорога по абсолютным параметрам грузооборота находится на втором месте после Западно-Сибирской дороги, а по грузонапряжённости – на первом с превышением почти в два раза среднесетевого параметра.

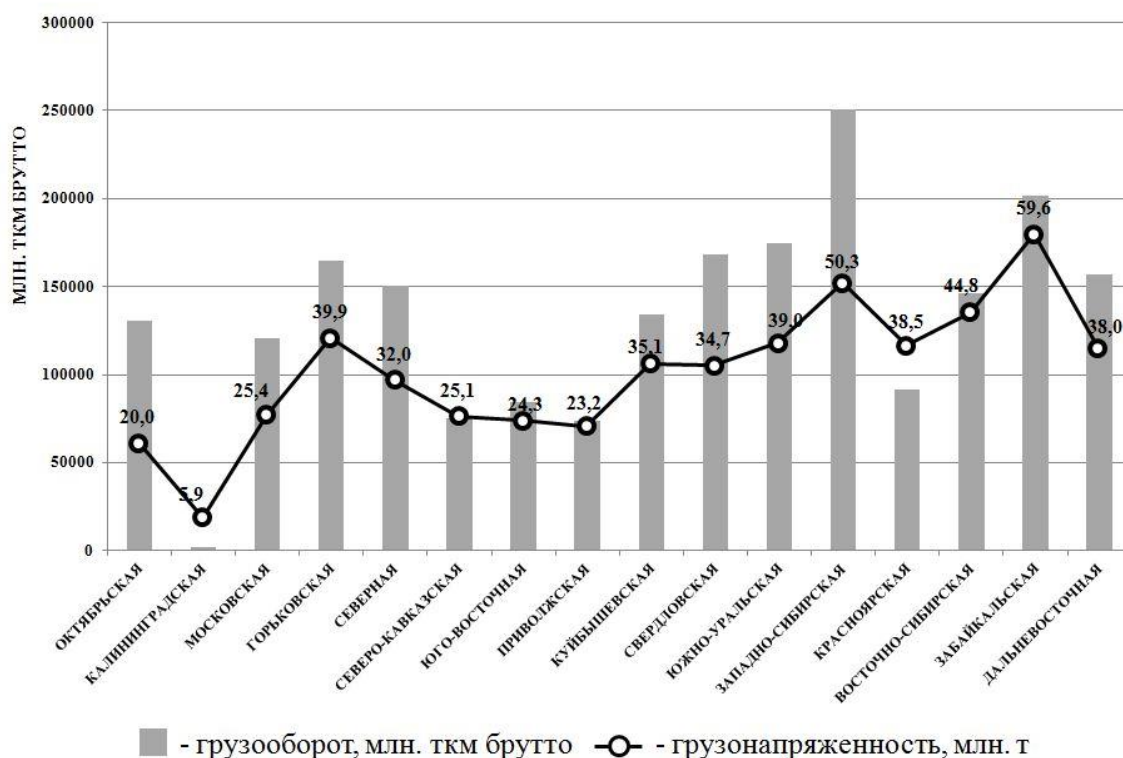


Рисунок 2.2. Объем работы и грузонапряженность дорог сети по итогам 2011 г.

Объёмы перевозок и нагрузка на инфраструктуру в регионе превысили пиковые периоды 1988 г. и осуществляются на пределе пропускных способностей, что нашло отражение в резком ухудшении качества эксплуатационной работы по итогам с 2009 по 2012 гг. При росте объёма работы в границах Забайкальской железной дороги с 2008 г. на 23,1%, участковая скорость снизилась на 7,2 км/ч (см. рисунок 2.3). К числу основных последствий, связанных с инфраструктурными ограничениями, можно отнести хронический дефицит тяговых ресурсов, снижение эффективности управления, сложности с ремонтом и содержанием объектов инфраструктуры.

Значительное снижение участковой скорости на Забайкальской железной дороге в течение нескольких лет, отмеченное на рисунке 2.3, свидетельствует о наличии существенных отклонений условий эксплуатации от расчетных параметров.

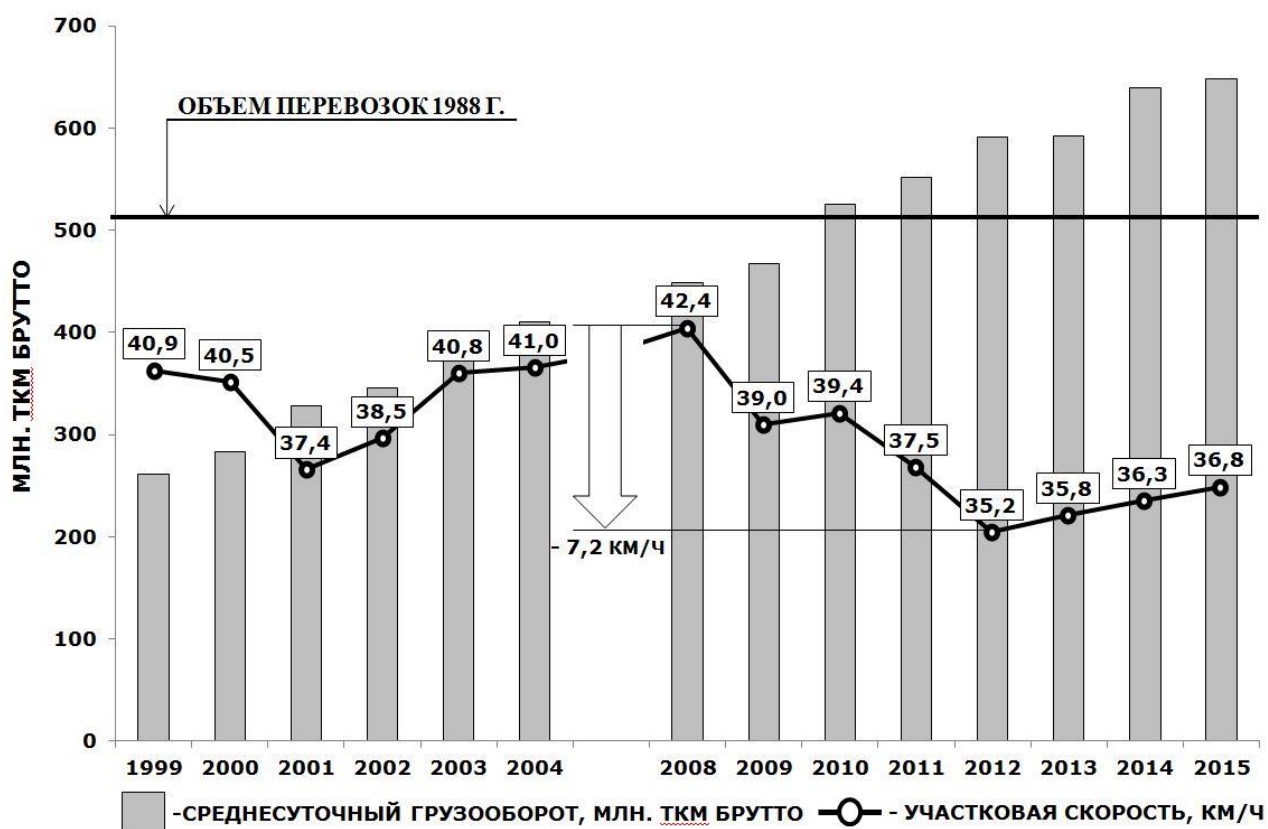


Рисунок 2.3. Основные показатели объема и качества работы Забайкальской железной дороги.

Для локализации основных факторов нарушения стабильности движения поездов при анализе изменений участковой скорости можно последовательно переходить от участков большей протяженности к участкам меньшей протяженности, на которых участковая скорость имеет наименьшие значения. Это могут быть перегоны, после которых участковая скорость возрастает, или станции, перед которыми движение поездов замедляется. Проанализируем выполнение участковой скорости по поездоучасткам дороги.

На рисунке 2.4 приведены данные о выполнении участковых скоростей и размеров движения в чётном направлении на поездоучастках Чита – Карымская и Могоча – Уруша в период с 2004 по 2011 годы. Каждая точка – это среднемесячная участковая скорость в зависимости от среднесуточного количества грузовых поездов на рассматриваемом участке за каждый месяц рассматриваемого периода.

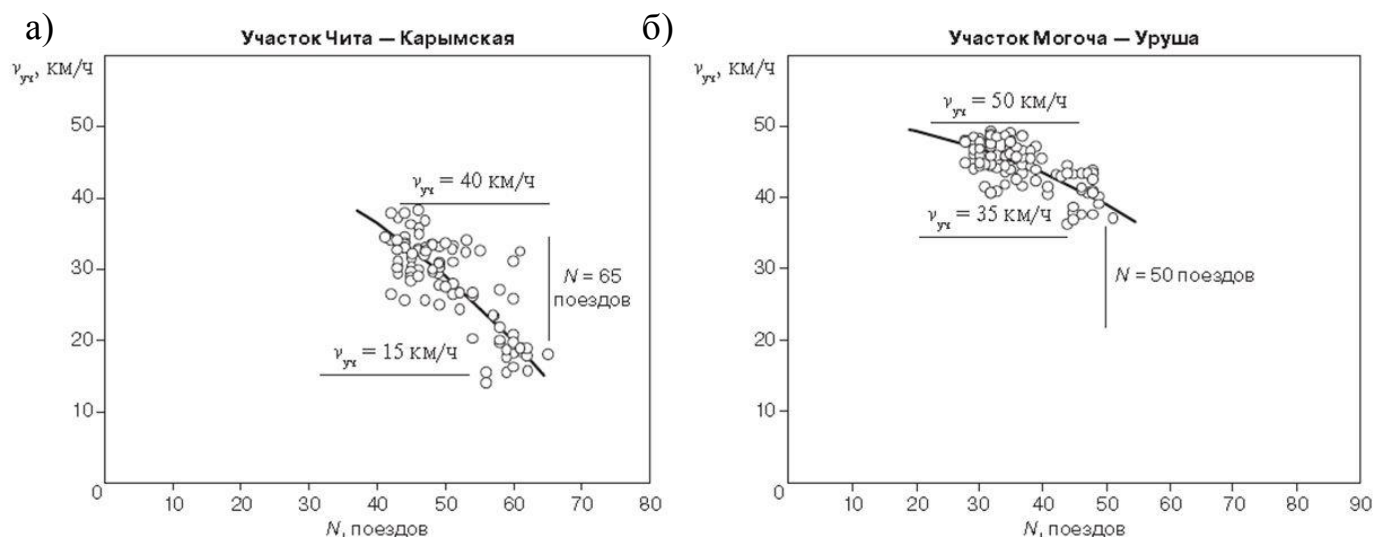


Рисунок 2.4. Диаграмма рассеивания среднесуточной участковой скорости и среднесуточных размеров движения за месяц с 2004 по 2011 гг. а) для участка Чита – Карымская, б) для участка Могоча – Уруша.

С использованием метода наименьших квадратов аппроксимированы данные с получением зависимости между участковой скоростью и размерами движения:

$$v(n) = v_{\text{тр}} + k \cdot n^2, \quad (2.2)$$

где $v_{\text{тр}}$ – скорость поезда на участке, определенная тяговыми расчетами, км/ч;

k – эмпирический коэффициент, км/ч/поезд.²;

n – среднесуточные размеры движения.

Для рассматриваемых поездоучастков:

а) Чита – Карымская:

$$v(n) = 49,97 - 0,0083 n^2 \quad (2.3)$$

б) Могоча – Уруша:

$$v(n) = 51,19 - 0,0049 n^2 \quad (2.4)$$

Так, для участка Чита – Карымская падение участковой скорости при размерах движения от 30 до 60 поездов – 22,4 км/ч. Для участка Могоча – Уруша сопоставимое падение скорости происходит в большем диапазоне изменения числа поездов от 40 до 80 поездов (рисунок 2.4). Проведя соответствующий анализ по всем диспетчерским участкам дороги в четном и нечетном направлениях, сведём данные в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Значения эмпирических коэффициентов, определяющих зависимость между участковой скоростью и размерами движения для участков железной дороги

участки	Петровский Завод – Могзон	Могзон – Чита	Чита – Карымская	Карымская – Чернышевск	Чернышевск – Могоча	Могоча – Уруша	Уруша – Магдагачи	Магдагачи – Шимановская	Шимановская – Белогорск	Белогорск – Архара
четное направление										
$V_{тр}$	47,21	53,81	49,97	54,85	51,31	51,19	50,54	62,02	56,77	56,58
k	-0,0033	-0,0065	-0,0083	-0,0063	-0,0047	-0,0049	-0,0066	-0,0033	-0,0042	-0,0031
нечетное направление										
$V_{тр}$	59,30	54,43	53,20	55,10	56,90	57,20	55,43	62,10	61,30	62,04
k	-0,0050	-0,0047	-0,0086	-0,0117	-0,0096	-0,0088	-0,0119	-0,0087	-0,0080	-0,0089

Для примера на основании данных таблицы 2.1 и зависимости (2.2) проведем расчеты участковой скорости для участка Чернышевск – Могоча в диапазоне размеров грузового движения от 40 до 70 поездов с шагом в пять поездов для четного направления:

$$40 \text{ поездов: } v(n) = 51,31 - 0,0047 \cdot 40^2 = 43,79 \text{ км/ч;}$$

$$45 \text{ поездов: } v(n) = 51,31 - 0,0047 \cdot 45^2 = 41,79 \text{ км/ч;}$$

$$50 \text{ поездов: } v(n) = 51,31 - 0,0047 \cdot 50^2 = 39,56 \text{ км/ч;}$$

$$55 \text{ поездов: } v(n) = 51,31 - 0,0047 \cdot 55^2 = 37,09 \text{ км/ч;}$$

$$60 \text{ поездов: } v(n) = 51,31 - 0,0047 \cdot 60^2 = 34,39 \text{ км/ч;}$$

$$65 \text{ поездов: } v(n) = 51,31 - 0,0047 \cdot 65^2 = 31,45 \text{ км/ч;}$$

$$70 \text{ поездов: } v(n) = 51,31 - 0,0047 \cdot 70^2 = 28,28 \text{ км/ч;}$$

Проведем расчеты по всем поездоучасткам дороги, данные сведем в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Изменение параметров $v(n)$ по участкам дороги в зависимости от размеров движения грузовых поездов n

n , поезд.	$V(n)$, км/ч									
	Петровский Завод – Могзон	Могзон – Чита	Чита – Карымская	Карымская – Чернышевск	Чернышевск – Могоча	Могоча – Уруша	Уруша – Магдагачи	Магдагачи – Шимановская	Шимановская – Белогорск	Белогорск – Архара
четное направление										
40	41,93	43,41	36,69	44,77	43,67	43,35	39,98	56,74	50,05	51,62
45	40,53	40,65	33,16	42,09	41,67	41,27	37,18	55,34	48,27	50,30
50	38,96	37,56	29,22	39,10	39,44	38,94	34,04	53,77	46,27	48,83
55	37,23	34,15	24,86	35,79	36,97	36,37	30,58	52,04	44,07	47,20
60	35,33	30,41	20,09	32,17	34,27	33,55	26,78	50,14	41,65	45,42
65	33,27	26,35	14,90	28,23	31,33	30,49	22,66	48,08	39,03	43,48
70	31,04	21,96	9,30	23,98	28,16	27,18	18,20	45,85	36,19	41,39
нечетное направление										
40	51,30	46,91	39,44	36,38	41,54	43,12	36,39	48,18	48,50	47,80
45	49,18	44,91	35,79	31,41	37,46	39,38	31,3325	44,48	45,10	44,02
50	46,80	42,68	31,70	25,85	32,90	35,20	25,68	40,35	41,30	39,79
55	44,18	40,21	27,19	19,71	27,86	30,58	19,4325	35,78	37,10	35,12
60	41,30	37,51	22,24	12,98	22,34	25,52	12,59	30,78	32,50	30,00
65	38,18	34,57	16,87	5,67	16,34	20,02	5,1525	25,34	27,50	24,44
70	34,80	31,40	11,06	-2,23	9,86	14,08	-2,88	19,47	22,10	18,43

Следует отметить, что на отдельных участках участковая скорость при размерах движения 60-70 поездов достигла параметров менее 10 км/ч или отрицательных значений, что, конечно, в реальных условиях работы невозможно. Полученные критические значения скорости говорят о значительном влиянии

фактора «размеры движения грузовых поездов» на показатель участковой скорости.

Оценкой тесноты связи при криволинейной зависимости служит корреляционное отношение η_{nv} , представляющее собой корень квадратный из соотношения двух дисперсий: среднего квадрата σ_p^2 отклонений расчетных значений v'_j функции по найденному уравнению регрессии от среднеарифметического значения v величины участковой скорости к среднему квадрату отклонений σ_v^2 фактических значений функции v_j от ее среднеарифметического значения:

$$\eta_{nv} = \sqrt{\frac{\sigma_p^2}{\sigma_v^2}} = \sqrt{\frac{\sum (v'_j - v)^2}{\sum (v_j - v)^2}} \quad (2.5)$$

Величина корреляционного отношения может принимать только положительные значения от 0 до 1. При полном отсутствии связи корреляционное отношение равно нулю, при наличии функциональной связи оно равно единице, а при наличии регрессионной связи различной тесноты корреляционное отношение принимает значения между нулем и единицей. Полученные значения корреляционного отношения по каждому поездоучастку приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Значения корреляционного отношения η_{nv} регрессионной зависимости

$v(n) = v_{тр} + k \cdot n^2$ для участков Забайкальской железной дороги

в четном направлении

участки	Петровский Завод – Могзон	Могзон – Чита	Чита – Карымская	Карымская – Чернышевск	Чернышевск – Могоча	Могоча – Уруша	Уруша – Магдагачи	Магдагачи – Шимановская	Шимановская – Белогорск	Белогорск – Архара
η_{nv}	0,56	0,90	0,89	0,81	0,68	0,76	0,72	0,77	0,76	0,82

Полученные значения корреляционного отношения η_{nv} свидетельствуют о тесной связи между участковой скоростью и размерами движения. При этом на участках Могзон – Чита, Чита – Карымская, Карымская – Чернышевск, Белогорск – Архара значения корреляционного отношения η_{nv} находятся в пределах $[0,8; 1]$, что показывает достаточно высокую степень близости полученного уравнения регрессии на данных участках к функциональной зависимости участковой скорости от размеров движения.

2.2.2 Влияние фактора «сезонности» на участковую скорость

Исследуя соотношение величин значений скорости и размеров движения (приведены в таблице 2.2), полученных в разные периоды времени, можно оценить и сезонную составляющую, влияющую на пропуск поездов. То есть, если при расчётах определить параметры соотношений (2.1) в «зимний» период (с ноября по апрель включительно) и в «летний» период (с мая по октябрь включительно), можно установить зависимость участковой скорости от размеров движения, соответственно, в «безоконный» период и в период проведения ремонтно-путевой кампании и графика движения при максимальном числе пассажирских поездов. Под «сезонностью» в данной работе понимается период времени года, когда на инфраструктуре выполняются ремонтные и реконструктивные работы в «окна». На рисунке 2.5 показана диаграмма рассеивания среднесуточной участковой скорости и среднесуточных размеров движения за каждый месяц в четном направлении в период с 2004 по 2011 гг. с разделением точек «зимнего» и «летнего» периодов на участках Чита – Карымская и Могоча – Уруша. В результате соответствующих расчетов с использованием соотношения (2.1) получены зависимости участковой скорости от размеров движения для «зимнего» и «летнего» периодов времени.

Для участка Чита – Карымская:

- «зимний» период

$$v(n) = 49,97 - 0,0078 n^2 \quad (2.6)$$

- «летний» период

$$v(n) = 49,97 - 0,0088 n^2 \quad (2.7)$$

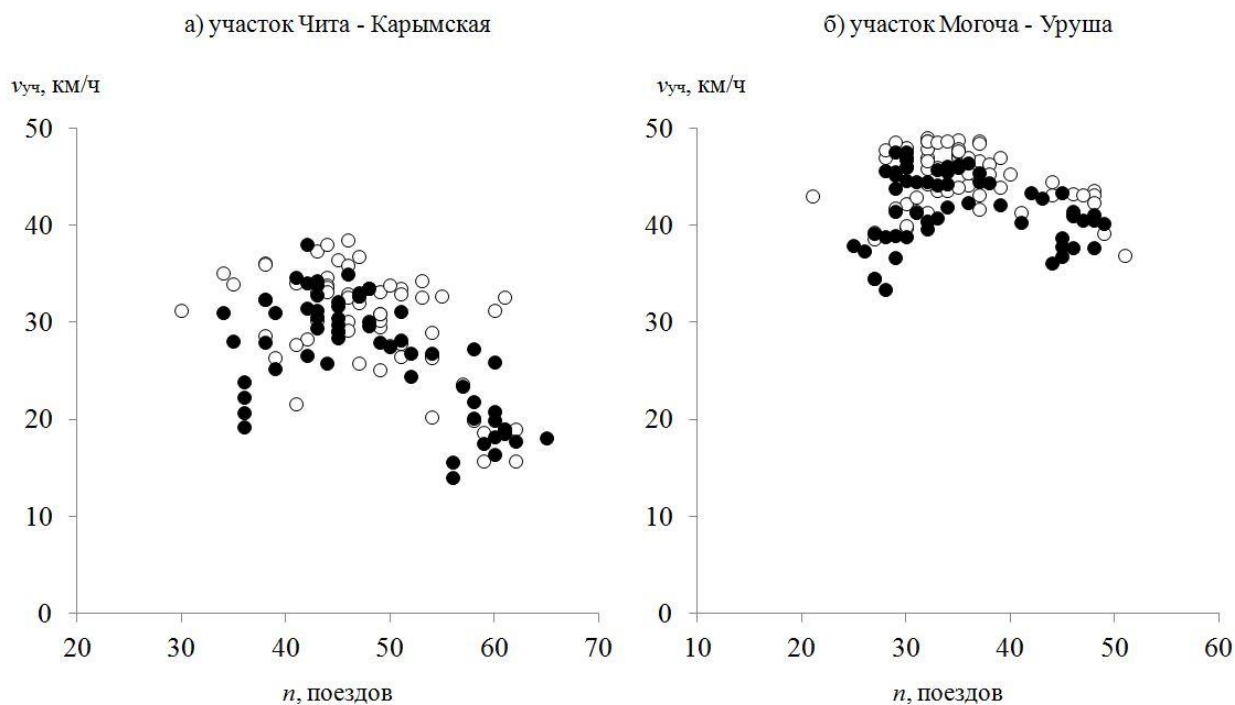


Рисунок 2.5. Диаграмма рассеивания среднесуточной участковой скорости и среднесуточных размеров движения за месяц в четном направлении с 2004 по 2011 гг.

а) для участка Чита – Карымская; б) для участка Могоча – Уруша.

Черные точки – «летний» период, белые точки – «зимний» период.

Для участка Могоча – Уруша:

- «зимний» период

$$v(n) = 51,19 - 0,0045 n^2 \quad (2.8)$$

- «летний» период

$$v(n) = 51,19 - 0,0063 n^2 \quad (2.9)$$

Для участка Чита – Карымская значения коэффициентов будут равны -0,0078 для «зимнего» и -0,0088 для «летнего» периодов, для участка Могоча – Уруша – -0,0045 и -0,0063. Полученные зависимости отобразим на рисунке 2.6.

На основании этих данных зависимость участковой скорости от размеров движения с выделением влияния факторов периода года может быть представлена в следующем виде:

$$v(n) = v_{\text{тр}} + (k + \Delta k) n^2, \quad (2.10)$$

где Δk – приращение эмпирического коэффициента, соответственно, в

«летний» и «зимний» периоды, км/ч/ поезд.²;

$\Delta k_{зим}$ – значение для «зимнего» периода, км/ч/ поезд.²;

$\Delta k_{лет}$ – значение для «летнего» периода, км/ч/ поезд.².

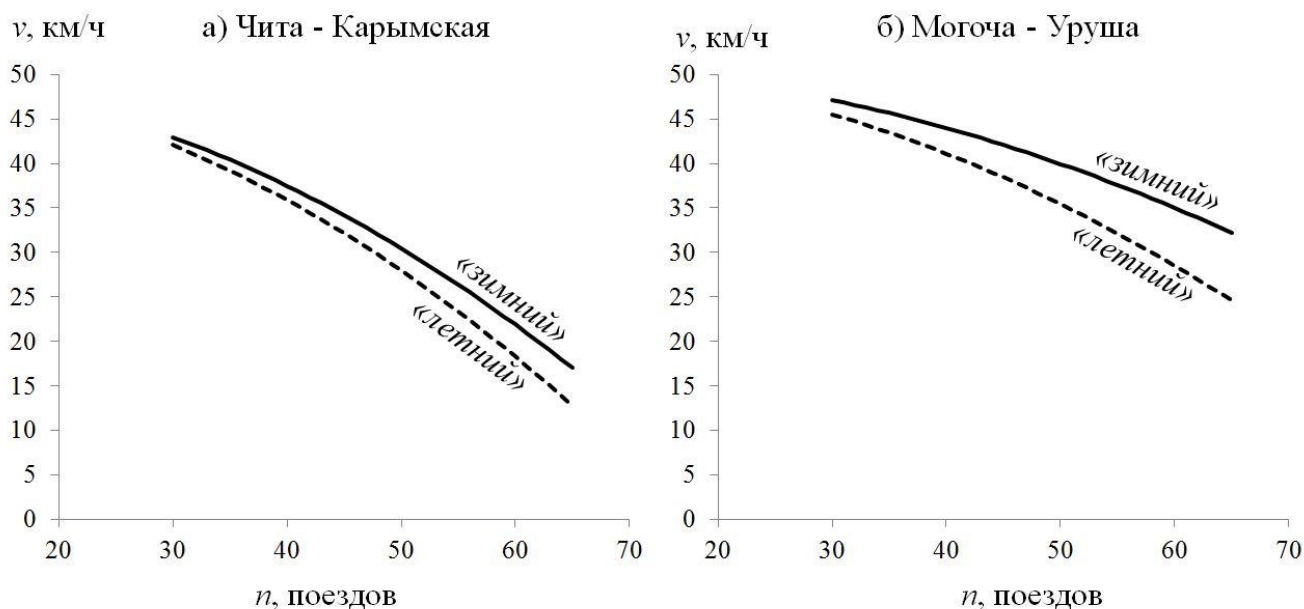


Рисунок 2.6. Зависимости участковых скоростей от размеров движения для участков: а) Чита – Карымская; б) Могоча – Уруша.

Сплошная линия – «зимний» период, штриховая линия – «летний» период.

Данные расчётов для участков Забайкальской железной дороги приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Значения эмпирических коэффициентов и их приращения, определяющих зависимость участковой скорости от размеров движения в «летний» и «зимний» периоды для четного направления на участках дороги

участки	Петровский Завод – Могзон	Могзон – Чита	Чита – Карымская	Карымская – Чернышевск	Чернышевск – Могоча	Могоча – Уруша	Уруша – Магдагачи	Магдагачи – Шимановская	Шимановская – Белогорск	Белогорск – Архара
$\Delta k_{зим}$	0,0013	0,0006	0,0005	0,0020	0,0018	0,0014	0,0020	0,0012	0,0012	0,0011
k	-0,0033	-0,0065	-0,0083	-0,0063	-0,0048	-0,0049	-0,0066	-0,0011	-0,0042	-0,0031
$\Delta k_{лет}$	-0,0009	-0,0005	-0,0005	-0,0012	-0,0031	-0,0004	-0,0012	-0,0006	-0,0006	-0,0006
$ \Delta k_{зим} + \Delta k_{лет} $	0,0022	0,0011	0,0010	0,0032	0,0049	0,0018	0,0032	0,0018	0,0018	0,0017

Поездоучастки, на которых сумма $|\Delta k_{зим}|$ и $|\Delta k_{лет}|$ будет минимальной, характеризуются наименьшим влиянием сезонности, а там, где сумма будет наибольшей, влияние организации движения в период «окон» и летнего графика движения пассажирских поездов будет наиболее значимым.

2.2.3 Влияние обеспечения локомотивами составов грузовых поездов на станциях смены локомотивов на участковую скорость

В качестве объекта исследования используем участок Чита – Карымская (с минимальным влиянием сезонности), который является смежным к узлу Карымская и, если посмотреть на фактическое выполнение участковой скорости по поездоучасткам главного хода дороги направления Транссиба по итогам 2012 года (см. рисунок 2.7), то на данном участке минимальное из всех значений – 19,5 км/ч.

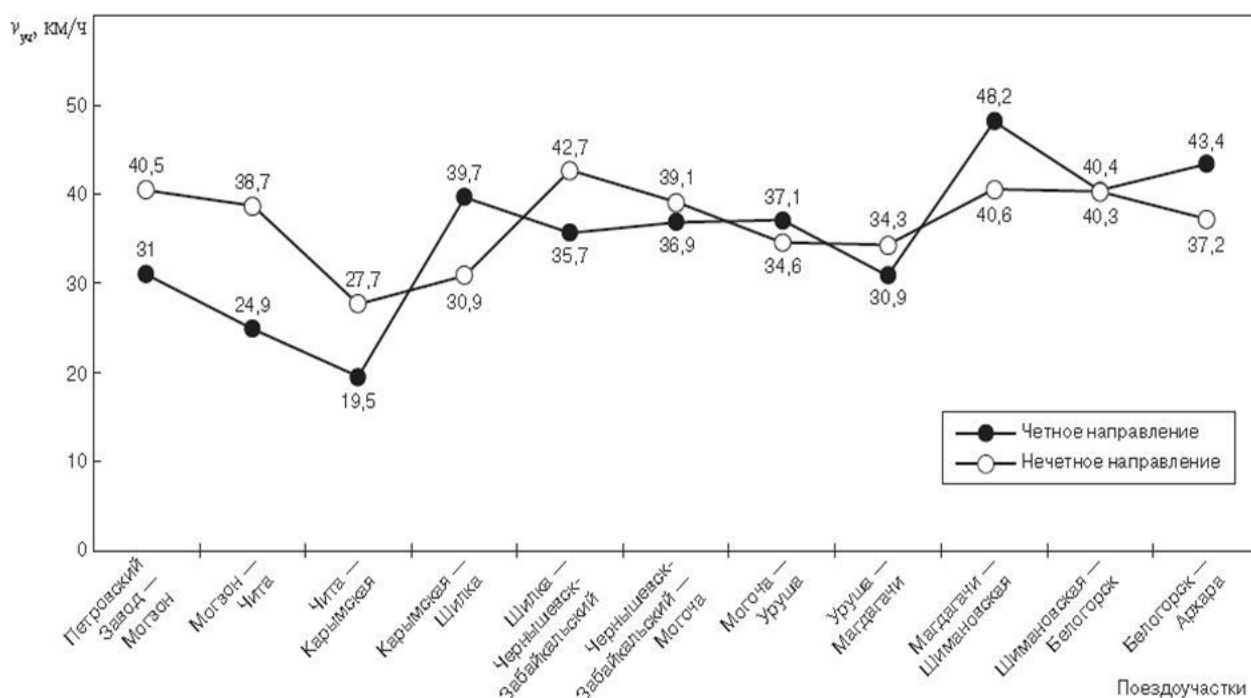


Рисунок 2.7. Среднесуточное выполнение участковой скорости по поездоучасткам главного хода дороги по итогам 2012 г.

На станции Карымская происходит стыкование участков обращения локомотивов на Восточном полигоне сети с выполнением всего комплекса

технологических операций с грузовыми поездами (смена локомотива и локомотивной бригады, технический и коммерческий осмотр составов). Технология работы локомотивного парка на удлинённых плечах была внедрена в 2001 году, согласно которой станция Карымская была определена как станция проведения ТО-2 локомотивов западного (приписки Красноярской, Восточно-Сибирской железных дорог) и восточного (приписки Забайкальской и Дальневосточной) направлений. Кроме того, по станции производилась смена локомотивной тяги с электровозной на тепловозную для поездов назначением на Китай (с июня 2011 г. открыто движение с электротягой от станции Карымская до станции Оловянная «южного хода» дороги).

На рисунке 2.8 показано среднесуточное выполнение участковой скорости на подходах к узлу в период с 2009 по 2012 годы. Параметры участковой скорости по каждому участку значительно ниже графиковых, на участке Чита – Карымская в среднем за четыре года фактическая скорость меньше установленной графиком движения в 2,3 раза, на участке Шилка – Карымская в 1,6 раза, на участке Оловянная – Карымская в 1,7 раза. Средний простой транзитных поездов за четыре года увеличился на 37,5% и по итогам 2012 г. в 2,5 раза превысил нормативный параметр, установленный технологическим процессом работы станции.



Рисунок 2.8. Параметры работы узла Карымская и смежных поездоучастков.

На рисунке 2.9 точно обозначено какие были среднесуточные размеры движения и с каким средним временем стояли четные транзитные поезда по станции за каждый месяц с января 2008 г. по декабрь 2012 г.

Хорошо видно, что с определенной точки при движении поездопотоков в параметрах 60-65 грузовых поездов простой растет почти вертикально вверх, при этом в данный период проводились реконструкционные работы по увеличению пропускной способности станции за счет ввода дополнительных путей. Почему это происходит?

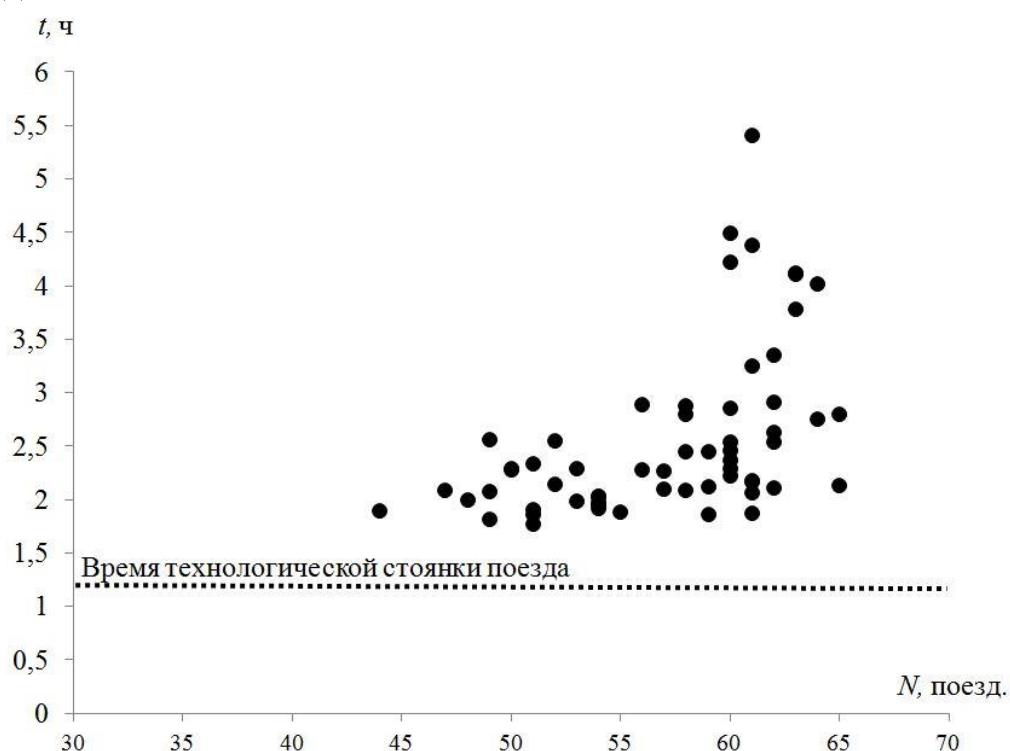


Рисунок 2.9. Диаграмма рассеивания среднего простоя транзитных поездов в четном направлении и среднесуточных размеров движения за месяц по станции Карымская в период 2008-2012 гг.

Одним из условий стабильной работы станции является обеспечение четного потока поездов локомотивами. Условно это показано на рисунке 2.10. Так суточное наличие поездов перед узлом $N_{\text{вх}}$ должно равняться суточному наличию локомотивов перед узлом с другой стороны $M_{\text{вх}}$. Разница между этими показателями определяет избыток или недостаток локомотивов для вывоза потока поездов:

$$\Delta M = M_{\text{вх}} - N_{\text{вх}} \quad (2.11)$$

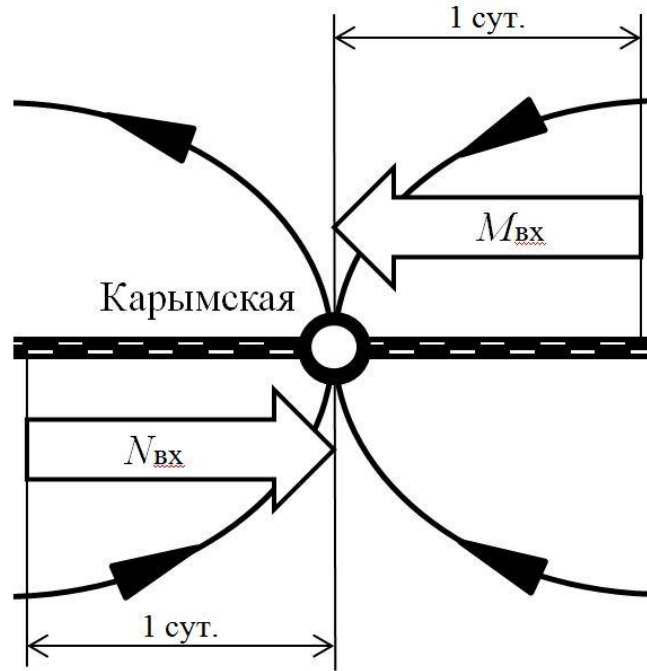


Рисунок 2.10. Условная схема обеспечения вывоза поездов по станции Карымская.

Обеспеченность локомотивами вывоза грузовых поездов четного направления со станции Карымская может быть оценена на основании анализа статистических данных, приведенных на рисунке 2.11.

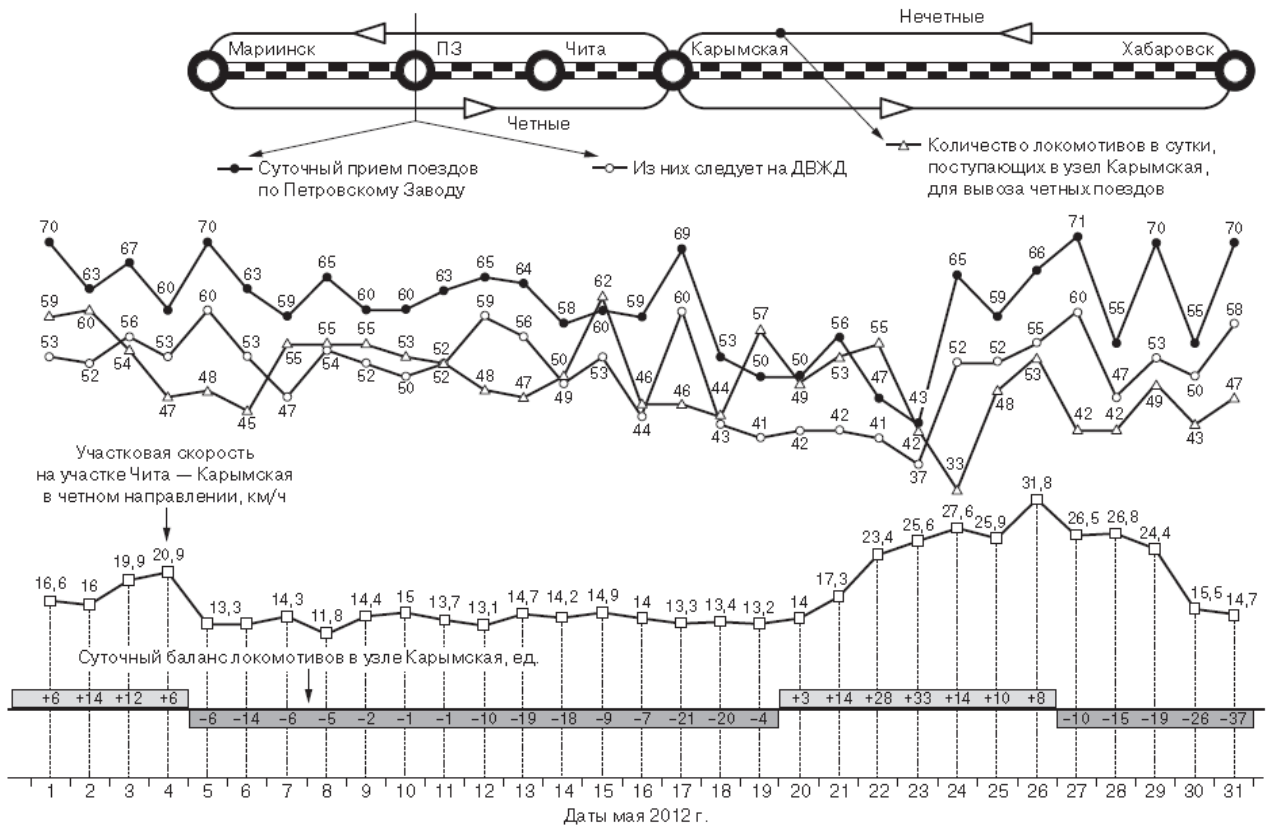


Рисунок 2.11. Обеспечение вывоза четных поездов со станции Карымская в мае 2012 г.

На этом рисунке показаны значения участковых скоростей за каждые сутки мая 2012 г. на участке Чита – Карымская в зависимости от суточного баланса локомотивов в узле Карымская. Суточное поступление локомотивов в узел для вывоза транзитных четных поездов в восточном направлении определялось как разность между числом поездов направлением на Хабаровск, принятых по станции Петровский Завод, и количеством локомотивов, поступивших в узел с нечетными поездами и в сплотах для вывоза четных поездов. Баланс локомотивов, обслуживающих восточное направление, в узле Карымская в каждые сутки определялся последовательным суммированием их числа в предшествующие сутки с числом локомотивов, поступивших в рассматриваемые сутки.

В течение мая можно выделить четыре периода: два с положительным балансом локомотивов и два с отрицательным. При положительном балансе участковая скорость увеличивалась, при отрицательном – уменьшалась и стабилизировалась на достаточно низком уровне – около 13 км/ч. Можно отметить явно выраженные переломы кривой участковой скорости движения поездов в периоды с 4 на 5 мая, а также с 19 на 20 и с 26 на 27 мая при изменении положительных значений суточного баланса локомотивов на отрицательные и с отрицательных на положительные. Это подтверждает наличие тесной корреляционной связи между участковой скоростью на участке и суточным балансом локомотивов, обслуживающих восточное направление, на станции Карымская. В лучшем случае можно ожидать, что при $\Delta M = 0$ четные транзитные грузовые поезда без переработки будут следовать через станцию Карымская с нормативными показателями простоя. В рассматриваемом периоде времени затруднения в пропуске четного поездопотока через станцию возникали при суточном приеме по станции Петровский Завод в среднем 53–56 четных поездов. При приеме 41–42 поездов отмечается заметное увеличение участковой скорости. Отметим, что для участка двухпутной электрифицированной железнодорожной линии это достаточно низкие показатели, которые заметно влияют на результаты деятельности железной дороги в целом.

В подтверждение проведенных выше исследований на рисунке 2.12 показаны определенные по итогам 2012 г. времена: простои транзитных поездов на станционных путях в ожидании технической обработки, в процессе технической обработки, в ожидании локомотива и в ожидании отправления со станции.



Рисунок 2.12. Распределение времени простоя грузовых поездов по причинам на станции Карымская по итогам 2012 г.

Приведенные на рисунке данные позволяют оценить роль времени ожидания отправления в общем времени занятия поездом станционного пути. В рассматриваемом случае время ожидания локомотивов в среднем составляет 65% общего времени простоя транзитного поезда на станционных путях четного направления.

С учетом рассмотренного комплекса обстоятельств можно утверждать, что причиной ограничения пропускной способности станции Карымская является систематическая нехватка в узле Карымская локомотивов, прибывающих на станцию Карымская с нечетными поездами, для обслуживания поездов четного направления.

На основании данных, характеризующих ежесуточное поездное положение в течение четырех лет (2009-2012 гг.), составляющих около полутора тысяч реальных поездных ситуаций, выполнены расчеты, показывающие баланс локомотивов, то есть их избыток или недостаток для вывоза четных поездов со станции Карымская. Сопоставление этих данных с величинами среднесуточных участковых скоростей позволило получить точки, которые показывают какой среднесуточный баланс локомотивов был на узле и какой была скорость каждый месяц на участке Чита – Карымская (см. рисунок 2.13). Эти данные показывают,

что существует регрессионная зависимость между участковой скоростью и величиной избытка или дефицита локомотивов для обеспечения вывоза поездов со станции.

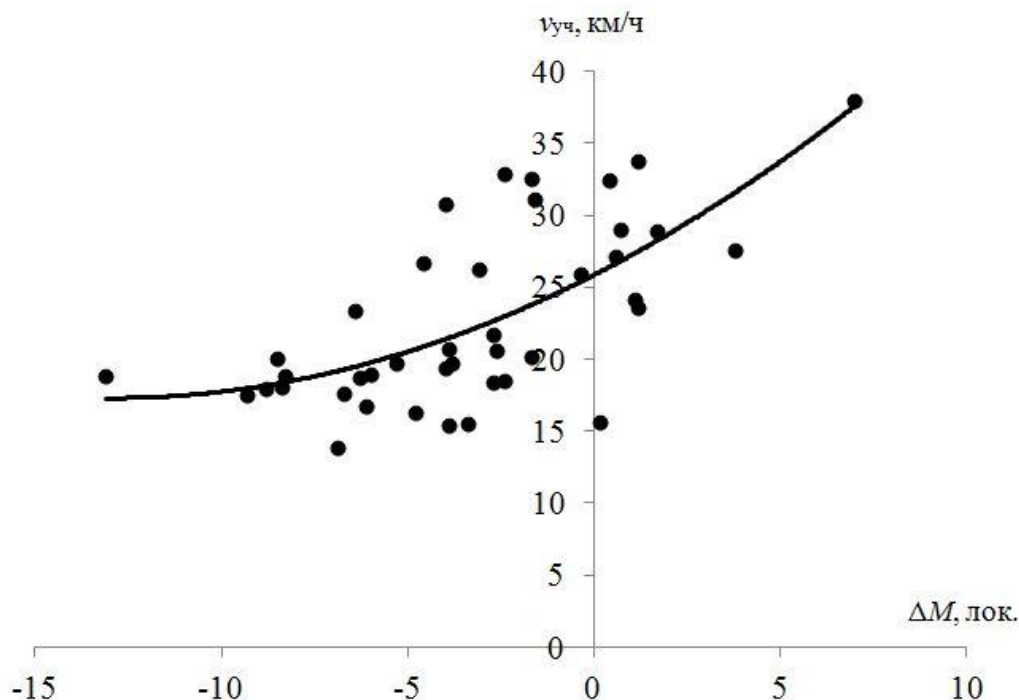


Рисунок 2.13. Диаграмма рассеивания баланса локомотивов ΔM на станции Карымская и выполнения участковой скорости $v_{уч}$ на участке Чита – Карымская (2009-2012 гг.).

Полученные данные с помощью метода наименьших квадратов аппроксимированы следующей зависимостью, связывающей ΔM и $v_{уч}$:

$$v(\Delta M) = 0,05 \cdot \Delta M^2 + 1,32 \cdot \Delta M + 25,84 \quad (2.12)$$

Проведем расчеты для значений параметра ΔM , равным -10, -5, 0, 5:

при $\Delta M = -10$ $v(\Delta M) = 0,051 \cdot (-10)^2 + 1,32 \cdot (-10) + 25,84 = 17,7$ км/ч;

при $\Delta M = -5$ $v(\Delta M) = 0,051 \cdot (-5)^2 + 1,32 \cdot (-5) + 25,84 = 20,5$ км/ч;

при $\Delta M = 0$ $v(\Delta M) = 0,051 \cdot 0 + 1,32 \cdot 0 + 25,84 = 25,8$ км/ч;

при $\Delta M = 5$ $v(\Delta M) = 0,051 \cdot 5^2 + 1,32 \cdot 5 + 25,84 = 33,7$ км/ч;

Для определения ΔM , при котором значение функции (2.11) будет равно значению участковой скорости, установленной графиком движения, можно решить уравнение:

$$0,051 \cdot \Delta M^2 + 1,32 \cdot \Delta M + 25,84 = v_{уч.гр.}$$

$$\Delta M = \frac{-1,32 + \sqrt{1,74 - 0,2 \cdot (25,84 - v_{уч.гр.})}}{0,1}, \quad (2.13)$$

где $v_{\text{уч.гр.}}$ – участковая скорость, установленная нормативным графиком движения, км/ч.

Подставив значение графической скорости в выражение (2.13), с округлением до целого значения получим:

$$\Delta M = \frac{-1,32 + \sqrt{1,74 - 0,2 \cdot (25,84 - 39,8)}}{0,1} = 8 \text{ локомотивов.}$$

Проведенные расчеты и исследования показывают, что при дефиците локомотивов от 10 до 0 участковая скорость ограничена параметрами 15 – 25 км/ч, а при положительном балансе, равном 8 локомотивам, будет равна графическим значениям.

Сопоставление выполнения участковой скорости по всем поездоучасткам от станции Петровский Завод до станции Карымская позволило получить характерные зависимости:

- для участка Могзон – Чита

$$v(\Delta M) = 0,039 \cdot \Delta M^2 + 1,22 \cdot \Delta M + 31,17 \quad (2.14)$$

$$\Delta M = \frac{-1,22 + \sqrt{1,5 - 0,16 \cdot (31,17 - v_{\text{уч.гр.}})}}{0,08} \quad (2.15)$$

- для участка Петровский Завод – Могзон

$$v(\Delta M) = 0,02 \cdot \Delta M^2 + 1,58 \cdot \Delta M + 43,35 \quad (2.16)$$

$$\Delta M = \frac{-1,58 + \sqrt{2,48 - 0,09 \cdot (43,35 - v_{\text{уч.гр.}})}}{0,04} \quad (2.17)$$

Проведем соответствующие расчеты:

- для участка Могзон – Чита и $\Delta M = -10; -5; 0; 5$

$$\text{при } \Delta M = -10 \quad v(\Delta M) = 0,039 \cdot (-10)^2 + 1,22 \cdot (-10) + 31,17 = 22,8 \text{ км/ч;}$$

$$\text{при } \Delta M = -5 \quad v(\Delta M) = 0,039 \cdot (-5)^2 + 1,22 \cdot (-5) + 31,17 = 26,0 \text{ км/ч;}$$

$$\text{при } \Delta M = 0 \quad v(\Delta M) = 0,039 \cdot 0 + 1,22 \cdot 0 + 31,17 = 31,2 \text{ км/ч;}$$

$$\text{при } \Delta M = 5 \quad v(\Delta M) = 0,039 \cdot 5^2 + 1,22 \cdot 5 + 31,17 = 38,3 \text{ км/ч;}$$

$$\Delta M = \frac{-1,22 + \sqrt{1,5 - 0,16 \cdot (31,17 - 42,6)}}{0,08} = 8 \text{ локомотивов.}$$

- для участка Петровский Завод – Могзон и $\Delta M = -10; -5; 0; 5$

$$\text{при } \Delta M = -10 \quad v(\Delta M) = 0,022 \cdot (-10)^2 + 1,58 \cdot (-10) + 43,35 = 22,8 \text{ км/ч};$$

$$\text{при } \Delta M = -5 \quad v(\Delta M) = 0,022 \cdot (-5)^2 + 1,58 \cdot (-5) + 43,352 = 26,0 \text{ км/ч};$$

$$\text{при } \Delta M = 0 \quad v(\Delta M) = 0,022 \cdot 0 + 1,58 \cdot 0 + 43,35 = 31,2 \text{ км/ч};$$

$$\text{при } \Delta M = 5 \quad v(\Delta M) = 0,022 \cdot 5^2 + 1,58 \cdot 5 + 43,35 = 38,3 \text{ км/ч};$$

$$\Delta M = \frac{-1,58 + \sqrt{2,48 - 0,09 \cdot (43,35 - 44,3)}}{0,04} = 1 \text{ локомотив.}$$

Проведя расчеты для $\Delta M \in [-10; 10]$, сведем полученные параметры в таблицу 2.5.

Таблица 2.5.

Изменение параметров участковой скорости $v(\Delta M)$ в зависимости от баланса локомотивов ΔM

$\Delta M,$ лок.	$v(\Delta M),$ км/ч			$\Delta M,$ лок.	$v(\Delta M),$ км/ч		
	Петровский Завод – Могзон	Могзон – Чита	Чита – Карымская		Петровский Завод – Могзон	Могзон – Чита	Чита – Карымская
-10	29,8	22,8	17,7	0	43,4	31,2	25,8
-9	30,9	23,3	18,1	1	44,3	32,4	27,2
-8	32,1	23,9	18,5	2	44,3	33,8	28,7
-7	33,4	24,5	19,1	3	44,3	35,2	30,3
-6	34,7	25,2	19,8	4	44,3	36,7	31,9
-5	36,0	26,0	20,5	5	44,3	38,3	33,7
-4	37,4	26,9	21,4	6	44,3	39,9	35,6
-3	38,8	27,9	22,3	7	44,3	41,6	37,6
-2	40,3	28,9	23,4	8	44,3	42,6	39,8
-1	41,8	30,0	24,6	9	44,3	42,6	39,8
				10	44,3	42,6	39,8

На основании расчетов построим графики регрессионной зависимости участковой скорости от баланса локомотивов для поездоучастков от станции

Петровский Завод до станции Карымская (см. рисунок 2.14).

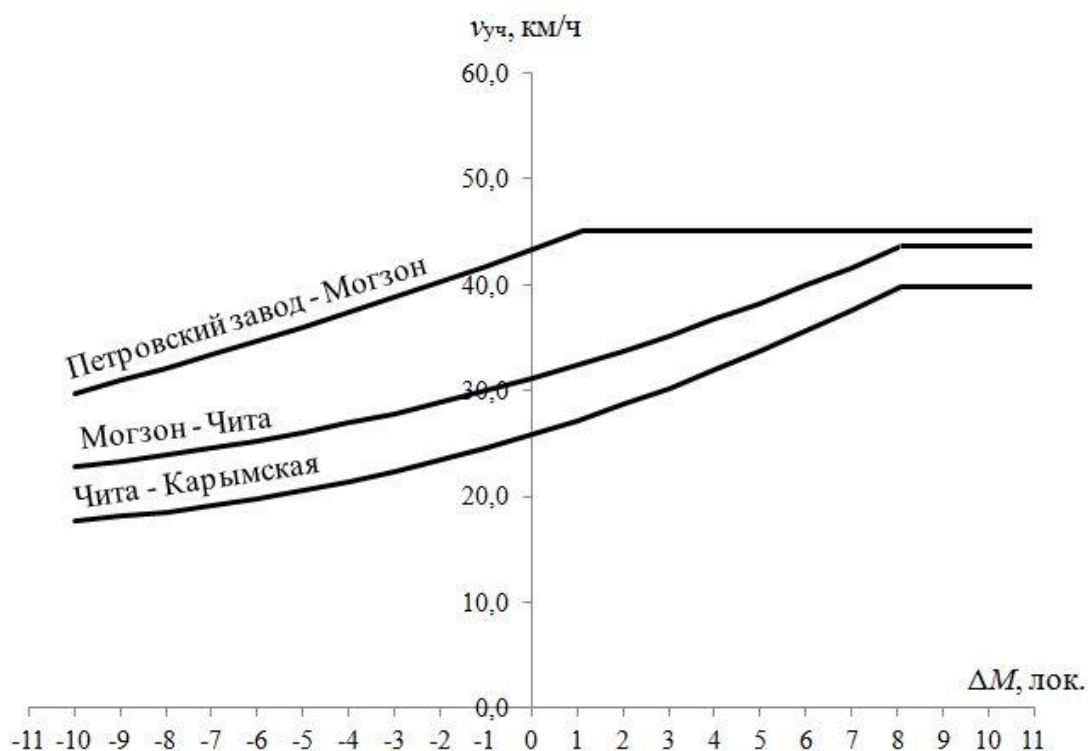


Рисунок 2.14. Зависимости участковой скорости в четном направлении на участке Петровский Завод – Карымская от баланса локомотивов в узле Карымская.

Установленные за длительный период статистических наблюдений зависимости между участковой скоростью и количеством локомотивов показывают, что основным фактором влияния на снижение участковой скорости – для четного направления от станции Петровский Завод до станции Карымская является обеспечение локомотивами потока поездов на станции смены локомотивов.

2.3 Сравнительный анализ степени влияния основных факторов на участковую скорость

На данном этапе исследования рассмотрены основные факторы, влияющие на продвижение поездопотоков в границах Забайкальской железной дороги:

- «размеры движения грузовых поездов»;
- «сезонность»;

- «достаточность локомотивов на станции их смены».

Расчёты показывают наличие зависимости между участковой скоростью и размерами движения на всех поездоучастках дороги, при этом разброс значений эмпирических коэффициентов k колеблется в пределах от -0,0134 до -0,0031, что обусловлено факторами, как техническими, так и технологическими.

К техническим факторам можно отнести:

- количество станций на участке;
 - длину приемоотправочных путей на станциях;
 - профиль пути участка;
 - длину перегонов;
 - техническое состояние объектов инфраструктуры;
 - установленные скорости движения на горловинах парков участковых и сортировочных станций;
 - количество приемоотправочных путей на участковых и сортировочных станциях;
 - установленные скорости движения грузовых и пассажирских поездов;
- и ряд других.

К технологическим факторам можно отнести:

- технологические операции на участковых и сортировочных станциях;
 - установленные плечи обращения локомотивов и локомотивных бригад;
 - план формирования грузовых поездов;
 - установленный график движения поездов;
 - организацию движения в период проведения ремонтно-путевых работ;
- и ряд других.

Соотношение указанных факторов индивидуально на каждом поездоучастке, что сказывается на значениях эмпирических коэффициентов. Наибольшая степень влияния размеров движения поездопотока на его скорость проявляется на участках, на которых модуль эмпирического коэффициента $|k|$ наибольший, минимальное влияние размеров движения соответствует участкам, на которых $|k|$ - наименьший. Эти закономерности подтверждаются данными на

рисунках 2.15 (четное направление), 2.16 (нечетное направление).

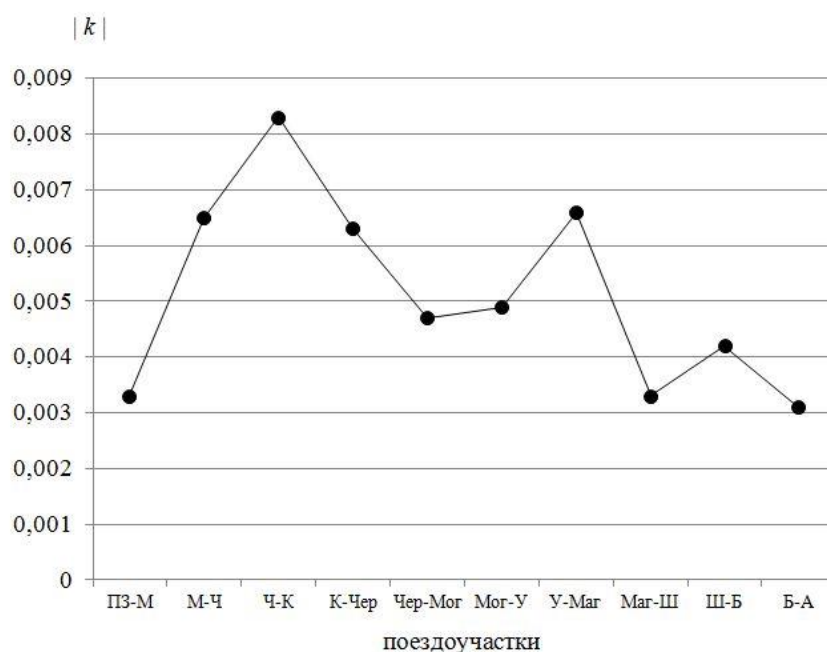


Рисунок 2.15. Модуль значений эмпирического коэффициента k зависимости участковой скорости от размеров движения на поездочастках дороги (четное направление).

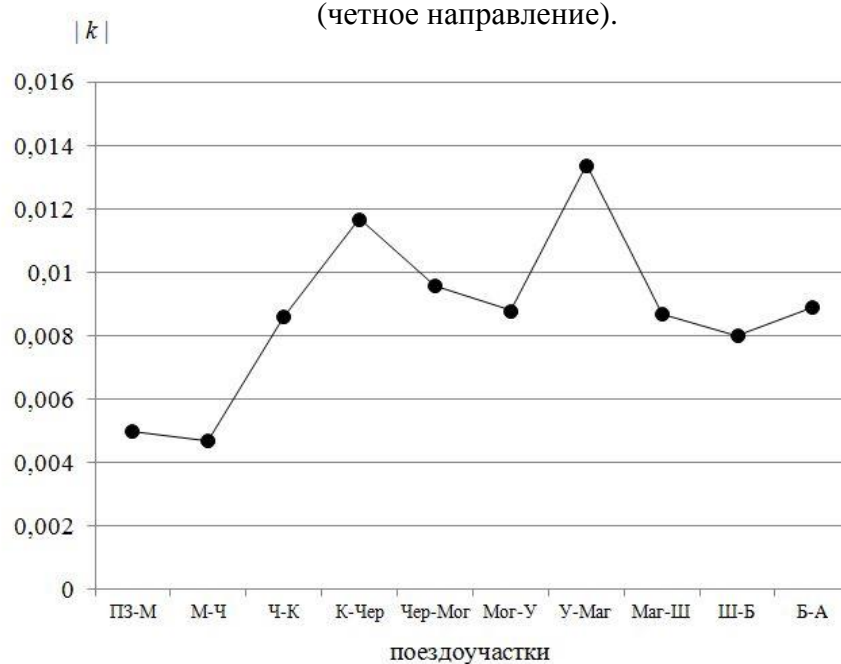


Рисунок 2.16. Модуль значений эмпирического коэффициента k зависимости участковой скорости от размеров движения на поездочастках дороги (нечетное направление).

Следует отметить, что диспетчерские участки, смежные со станцией Карымская, характеризуются максимальной зависимостью участковой скорости движения от размеров поездопотока.

Фактор «сезонности» так же имеет существенное значение, так как в

«летний» период происходит концентрация ремонтных работ объектов инфраструктуры (в большей части путевого комплекса), что требует предоставления большего количества «окон» увеличенной продолжительности (8 часов и более). Кроме этого на период с конца мая по сентябрь увеличиваются размеры движения пассажирских поездов, которые, в свою очередь, увеличивают сьем грузовых поездов. Все это приводит к ограничению пропускных способностей и подтверждается данными на рисунке 2.17, на котором отмечены значения участковой скорости за каждый месяц в границах Забайкальской железной дороги по итогам 2012 г. В среднем в «летний» период участковая скорость на 7% ниже, чем в «зимний».

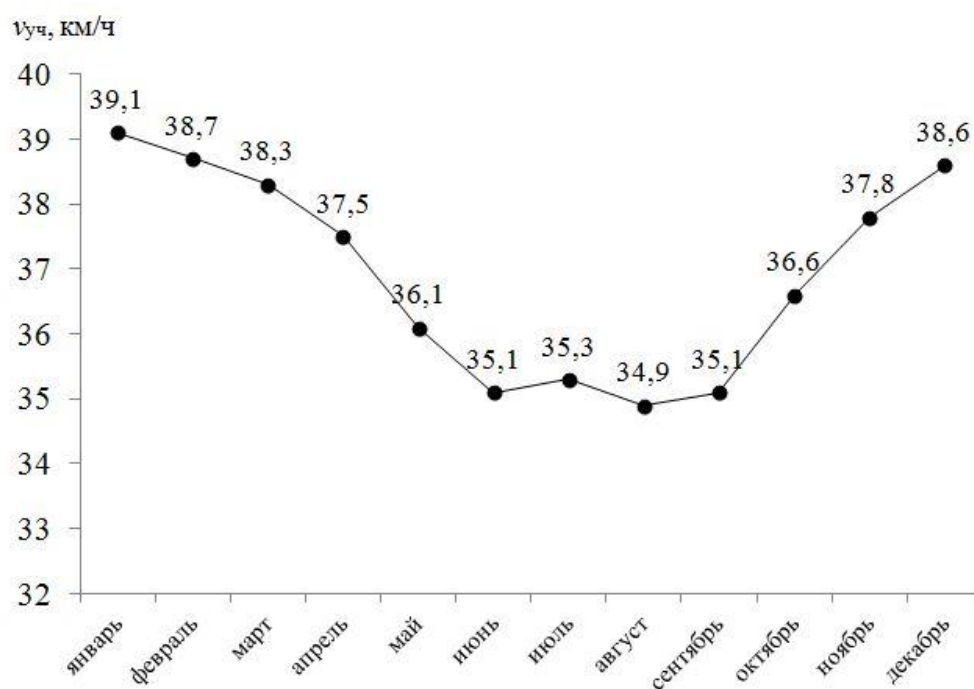


Рисунок 2.17. Выполнение участковой скорости за каждый месяц в границах Забайкальской железной дороги по итогам 2012 г.

Влияние сезонности обусловлено так же рядом технических и технологических факторов, о которых было сказано выше. Кроме того можно выделить:

- объемы капитальных работ по ремонту инфраструктуры и потребность в «окнах» на самом поездоучастке и смежных с ним;
- выполненные мероприятия по повышению пропускной способности (укладка временных отдельных пунктов на перегонах, возможность и

использование пропуска соединенных поездов, дополнительное секционирование контактной сети и т.д.).

Для оценки степени влияния фактора сезонности, используя полученные значения (см. таблицу 2.3), построим график распределения приращения коэффициентов по поездоучасткам (см. рисунок 2.18).

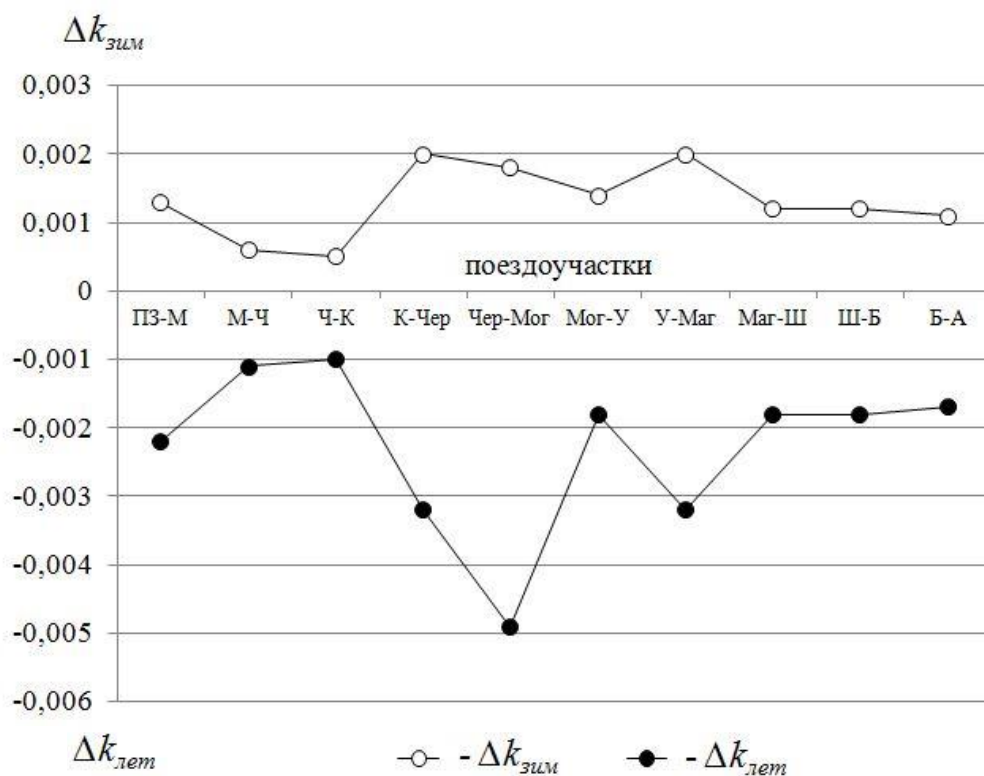


Рисунок 2.18. График приращения эмпирических коэффициентов $\Delta k_{зим}$, $\Delta k_{лет}$ по поездоучасткам.

Подтверждается отмеченное ранее, что поездоучастки, на которых сумма $|\Delta k_{зим}|$ и $|\Delta k_{лет}|$ будет минимальной, характеризуются наименьшим влиянием сезонности, а где сумма будет максимальной, влияние организации движения в период «окон» и летнего графика движения пассажирских поездов будет наибольшим (см. рисунок 2.19).

При этом выделение сезонности, как одного из ключевых факторов влияния на участковую скорость, имеет практическое значение в период подготовки к ремонтно-путевым работам при наложении объемов капитальных работ на поездоучастки для оценки запланированного комплекса мер по повышению пропускной способности участков в период проведения «окон».

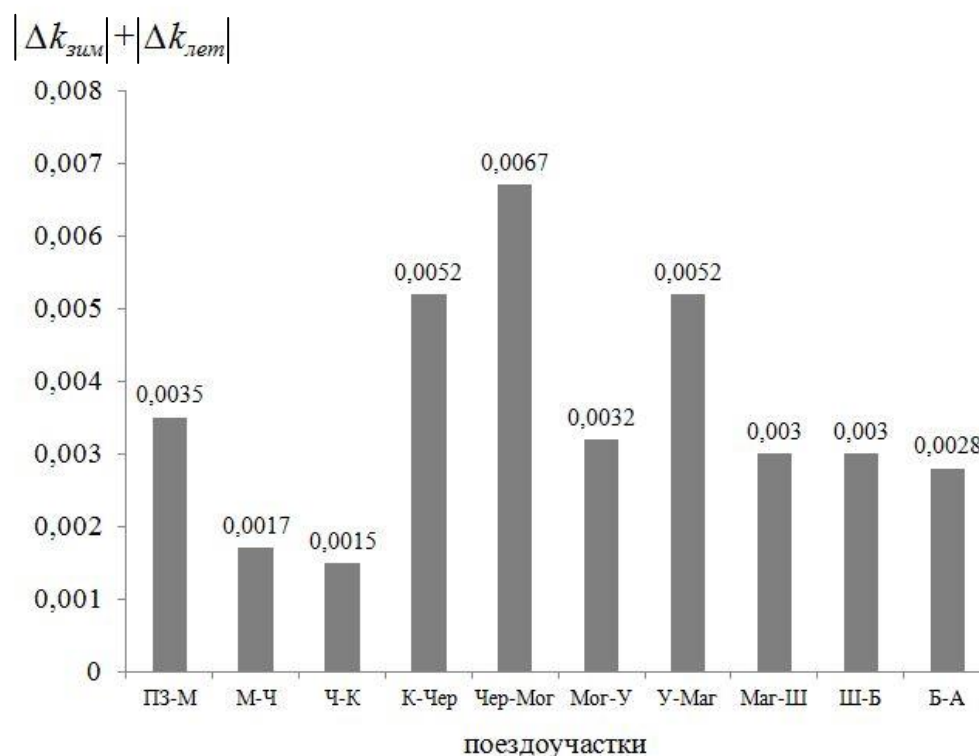


Рисунок 2.19. Диаграмма распределения суммы приращений эмпирических коэффициентов $|\Delta k_{зим}| + |\Delta k_{лет}|$ по поездоучасткам.

На основе проведенного анализа установлено, что лимитирующим звеном на основном направлении Забайкальской железной дороги является станция Карымская. Проведенный анализ эмпирических коэффициентов математических зависимостей участковой скорости от размеров движения на поездоучастках дороги показывает, что на участке Чита – Карымская наименьшее влияние на участковую скорость оказывает фактор сезонности. Нестабильная работа участка связана с работой технологического объекта – станции Карымская. Влияние станции на продвижение поездопотока на направлении является определяющим.

На основании исследований и расчетов, проведенных в § 2.2.3, построим график зависимости участковой скорости от баланса локомотивов на направлении Петровский Завод – Карымская при $\Delta M = -10; -5; 0; 5; 8$ локомотивов (см. рисунок 2.20). На данном рисунке хорошо видно, что наибольшее влияние на участковую скорость оказывает дефицит локомотивов на участке Чита – Карымская, по мере удаления от станции Карымская влияние отрицательного баланса уменьшается. При положительном балансе в 8 локомотивов участковая скорость равна

скорости, установленной нормативным графиком движения поездов.

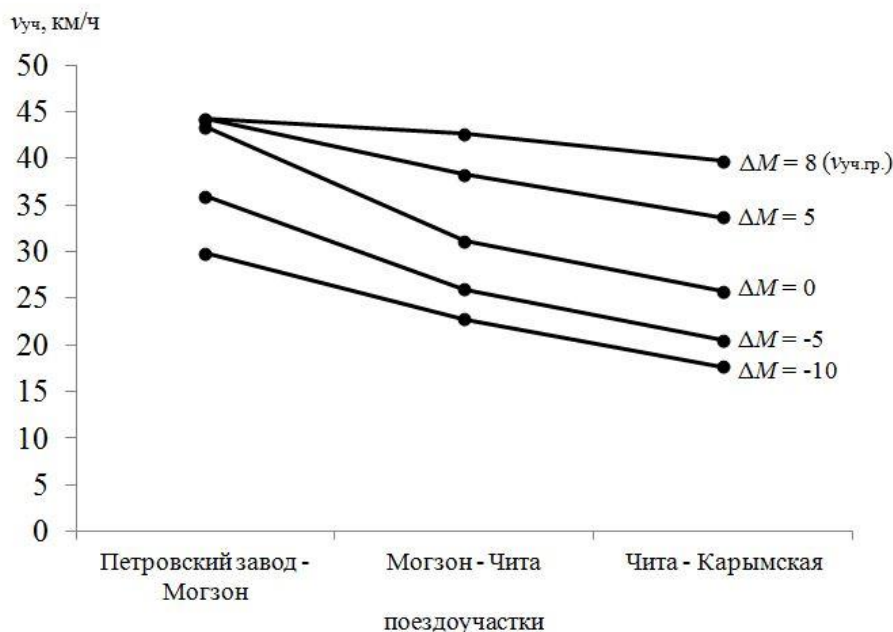


Рисунок 2.20. График зависимости участковой скорости от баланса локомотивов на направлении Петровский Завод – Карымская при $\Delta M = -10; -5; 0; 5; 8$ (лок.) на станции Карымская.

Для возможности объективного сравнения зависимости участковой скорости по отдельным участкам введем коэффициент влияния баланса локомотивов на участковую скорость $\beta_{\Delta M}$, который определяется соотношением:

$$\beta_{\Delta M} = v(\Delta M)/v_{уч.гр.} \quad (2.18)$$

Для примера при $\Delta M = -5$ соотношение (2.18) будет иметь следующий вид:

$$\beta_{-5} = v(-5)/v_{уч.гр.} \quad (2.19)$$

Проведем расчеты при $\Delta M = -5$:

- для участка Петровский Завод – Могзон $\beta_{-5} = 36,0/44,3 = 0,81$;
- для участка Могзон – Чита $\beta_{-5} = 26,0/42,6 = 0,61$;
- для участка Чита – Карымская $\beta_{-5} = 20,5/39,8 = 0,52$.

Проведем расчеты при $\Delta M = 0$:

- для участка Петровский Завод – Могзон $\beta_0 = 43,4/44,3 = 0,98$;
- для участка Могзон – Чита $\beta_0 = 31,2/42,6 = 0,73$;
- для участка Чита – Карымская $\beta_0 = 25,8/39,8 = 0,65$.

При этом очевидно, что значения данного коэффициента будут в пределах от 0,3 до 1.

Проведем расчеты $\beta_{\Delta M}$ для $\Delta M \in [-10; 10]$ и сведем в таблицу 2.6.

Таблица 2.6

Изменение коэффициента влияния баланса локомотивов на участковую скорость $\beta_{\Delta M}$ в зависимости от ΔM .

ΔM , ЛОК.	$\beta_{\Delta M}$			ΔM , ЛОК.	$\beta_{\Delta M}$		
	Петровский Завод – Могзон	Могзон - Чита	Чита – Карымская		Петровский Завод – Могзон	Могзон - Чита	Чита – Карымская
-10	0,67	0,54	0,44	0	0,98	0,73	0,65
-9	0,70	0,55	0,45	1	1,00	0,76	0,68
-8	0,72	0,56	0,46	2	1,00	0,79	0,72
-7	0,75	0,58	0,48	3	1,00	0,83	0,76
-6	0,78	0,59	0,50	4	1,00	0,86	0,80
-5	0,81	0,61	0,52	5	1,00	0,90	0,85
-4	0,84	0,63	0,54	6	1,00	0,94	0,89
-3	0,88	0,65	0,56	7	1,00	0,98	0,94
-2	0,91	0,68	0,59	8	1,00	1,00	1,00
-1	0,94	0,70	0,62	9	1,00	1,00	1,00
				10	1,00	1,00	1,00

Для оценки влияния основных факторов, определяющих уменьшение параметров участковой скорости, условно распределим поездоучастки по степени влияния: слабое влияние фактора, среднее и сильное.

Для фактора «размеры движения грузовых поездов» используем параметры эмпирического коэффициента k выражений (2.1-2.3). При этом распределим значения по степени влияния:

- при $k \in [0; 0,004]$ – степень влияния фактора слабая;
- при $k \in (0,004; 0,008]$ – степень влияния фактора средняя;
- при $k \in (0,008; 0,012]$ – степень влияния фактора сильная.

На основании вышеизложенного построим диаграмму распределения эмпирического коэффициента k по степени влияния на участковую скорость поездоучастков направления Петровский Завод – Архара (см. рисунок 2.21). Серая область показывает нахождение точек распределения в области по степени влияния фактора на участковую скорость.

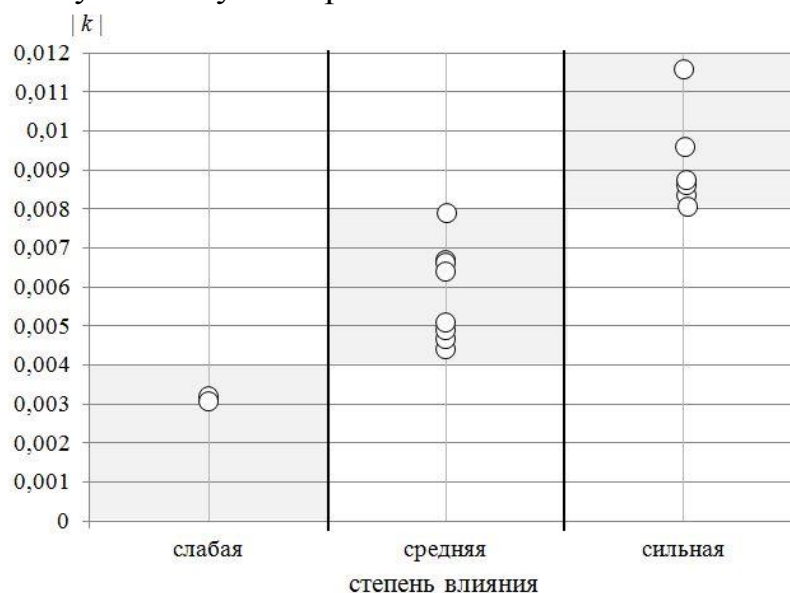


Рисунок 2.21. Распределение эмпирического коэффициента k по степени влияния на участковую скорость поездоучастков направления Петровский Завод – Архара.

На рисунке 2.21 хорошо видно, что распределение по степени влияния фактора на рассматриваемом направлении сложилось следующим образом: 15% поездоучастков находятся в зоне слабого влияния фактора, 40% – в зоне среднего влияния и 45% – в зоне сильного влияния.

Для фактора «сезонность» используем параметры суммы приращений эмпирического коэффициента $|\Delta k_{зим}| + |\Delta k_{лет}|$ выражения (2.10). При этом распределим значения по степени влияния:

- при $|\Delta k_{зим}| + |\Delta k_{лет}| \in [0; 0,003]$ – степень влияния фактора слабая;
- при $|\Delta k_{зим}| + |\Delta k_{лет}| \in (0,003; 0,006]$ – степень влияния фактора средняя;
- при $|\Delta k_{зим}| + |\Delta k_{лет}| \in (0,006; 0,009]$ – степень влияния фактора сильная.

Построим диаграмму распределения суммы приращений эмпирического коэффициента $|\Delta k_{зим}| + |\Delta k_{лет}|$ по степени влияния на участковую скорость поездоучастков Петровский Завод – Архара в четном направлении (см. рисунок 2.22).

На рисунке 2.22 показано, что распределение по степени влияния фактора на рассматриваемом направлении сложилось следующим образом: 50% поездоучастков находятся в зоне слабого влияния фактора, 40% – в зоне среднего влияния и 10% – в зоне сильного влияния.

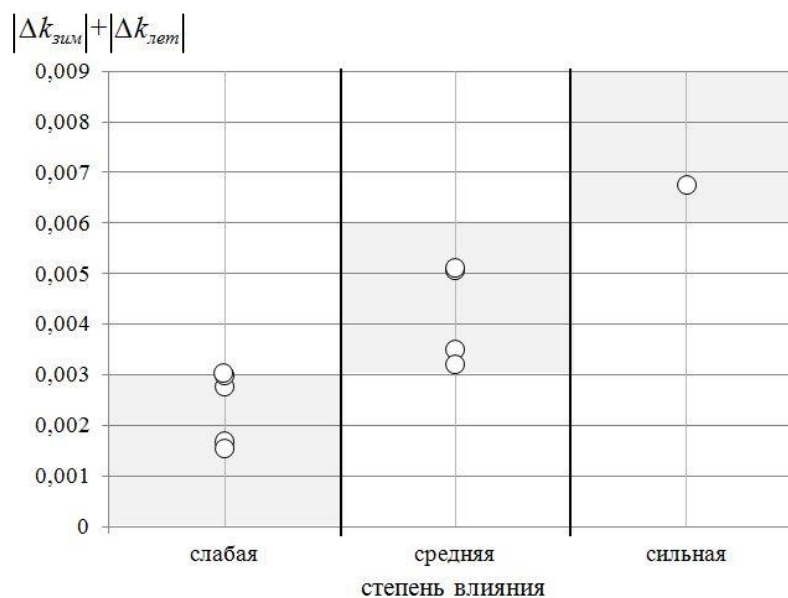


Рисунок 2.22. Распределение суммы приращений эмпирического коэффициента $|\Delta k_{зим}| + |\Delta k_{лет}|$ по степени влияния на участковую скорость поездоучастков направления Петровский Завод – Архара (четное направление).

Для фактора «достаточность локомотивов на станции их смены» используем параметры коэффициента влияния баланса локомотивов на участковую скорость $\beta_{\Delta M}$ выражений (2.17, 2.18). Примем, что сравнение производится при коэффициенте, рассчитанном для $\Delta M = -5$ локомотивов. При этом распределим значения по степени влияния:

- при $\beta_{.5} \in [0,3; 0,6)$ – степень влияния фактора сильная;
- при $\beta_{.5} \in [0,6; 0,8)$ – степень влияния фактора средняя;
- при $\beta_{.5} \in [0,8; 1,0]$ – степень влияния фактора слабая.

Построим диаграмму распределения коэффициента $\beta_{.5}$ по степени влияния баланса локомотивов на участковую скорость поездоучастков Петровский Завод – Карымская в четном направлении (см. рисунок 2.23). На рисунке показано, что один участок (Петровский Завод – Могзон) находится в зоне слабого влияния фактора, один участок (Могзон – Чита) – в зоне среднего влияния и один участок (Чита – Карымская) – в зоне сильного воздействия фактора «влияние работы

станции смены локомотивов».

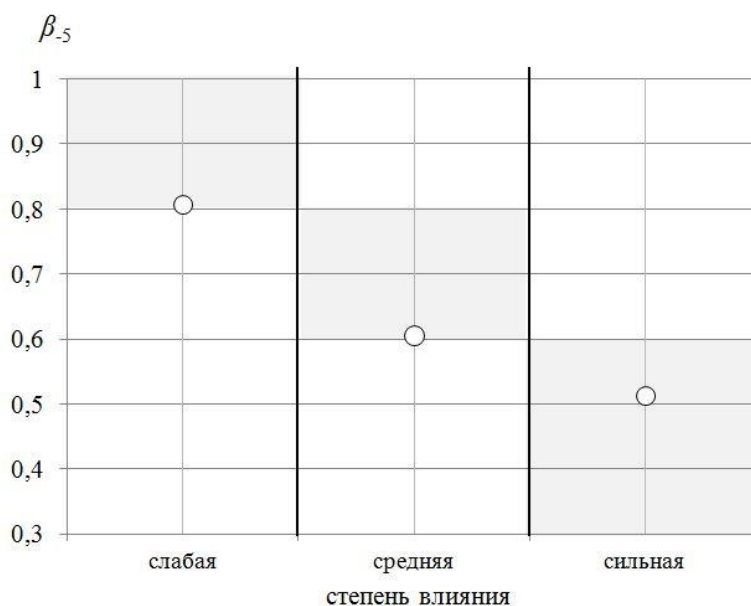


Рисунок 2.23. Распределение коэффициента $\beta_{\Delta M}$ по степени влияния баланса локомотивов $\Delta M = - 5$ на участковую скорость поездоучастков направления Петровский Завод – Карымская (четное направление).

Полученные результаты сведем в таблицу 2.7.

Таблица 2.7

Матрица оценки степени влияния основных факторов на участковую скорость четного направления Петровский Завод – Архара

Степень влияния	Петровский Завод – Могзон	Могзон – Чита	Чита – Карымская	Карымская – Чернышевск	Чернышевск – Могоча	Могоча – Уруша	Уруша – Магдагачи	Магдагачи – Шимановская	Шимановская – Белогорск	Белогорск – Архара
фактор «размеры движения грузовых поездов»										
сильная			+							
средняя		+		+	+	+	+		+	
слабая	+							+		+
фактор «сезонность»										
сильная					+					

Продолжение таблицы 2.7

Степень влияния	Петровский Завод – Могзон	Могзон – Чита	Чита – Карымская	Карымская – Чернышевск	Чернышевск – Могоча	Могоча – Уруша	Уруша – Магдагачи	Магдагачи – Шимановская	Шимановская – Белогорск	Белогорск – Архара
средняя	+			+		+	+			
слабая		+	+					+	+	+
фактор «достаточность локомотивов на станции их смены»										
сильная			+							
средняя		+								
слабая	+									

Выводы по главе 2

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1) выбор участковой скорости как основного критерия при оценке влияния на пропускную способность размеров движения, фактора «сезонности», обеспеченности составов грузовых поездов локомотивами позволил установить, что в четном направлении железной дороги лимитирующим участком с наименьшей пропускной способностью является участок Чита – Карымская;

2) участковая скорость на поездоучастках дороги с высокой степенью достоверности может быть аппроксимирована зависимостью следующего вида:

$$v(n) = v + k \cdot n^2;$$

3) степень влияния размеров движения на участковую скорость в значительной степени определяется значениями эмпирических коэффициентов k , которые находятся в пределах [0,0031; 0,0119];

4) размеры движения оказывают влияние на участковую скорость в разной степени в зависимости от рассматриваемых периодов времени («летний» и «зимний»). Оценка степени влияния фактора «сезонности» определяется через

приращение эмпирических коэффициентов Δk . С учетом этого регрессионная зависимость участковой скорости аппроксимируется соответствующим выражением $v(n) = v_{\text{тр}} + (k + \Delta k) n^2$. При этом влияние данного фактора существенно на участках с суммой модулей приращения эмпирических коэффициентов $|\Delta k_{\text{зим}}| + |\Delta k_{\text{лет}}|$ более 0,006;

5) на поездоучастке с наибольшим снижением участковой скорости – Чита – Карымская максимальное влияние на участковую скорость оказывают размеры движения, в меньшей степени – фактор «сезонность». Определен основной фактор воздействия на этом участке – «баланс локомотивов на станции их смены»;

б) участковая скорость на участке Чита – Карымская может быть оценена с помощью соотношения $v(\Delta M) = 0,0509 \cdot \Delta M^2 + 1,3199 \cdot \Delta M + 25,843$. Предложенная математическая модель устанавливает зависимость участковой скорости на данном участке от баланса локомотивов на станции Карымская и определяет минимальный резерв локомотивов, который необходим для стабильного пропуска поездов через станцию;

7) предложено оценку изменений участковой скорости в зависимости от ΔM выполнять по значениям коэффициента влияния баланса локомотивов на участковую скорость $\beta_{\Delta M}$, изменяющегося в пределах [0,3; 1,0];

8) ранжирование факторов по влиянию на участковую скорость можно производить на основе следующих показателей:

- слабое влияние при $k \in [0; 0,004]$, $|\Delta k_{\text{зим}}| + |\Delta k_{\text{лет}}| \in [0; 0,003]$, $\beta_{\Delta M} \in [0,8; 1,0]$;
- среднее влияние при $k \in (0,004; 0,008]$, $|\Delta k_{\text{зим}}| + |\Delta k_{\text{лет}}| \in (0,003; 0,006]$, $\beta_{\Delta M} \in [0,6; 0,8]$;
- сильное влияние при $k \in (0,008; 0,012]$, $|\Delta k_{\text{зим}}| + |\Delta k_{\text{лет}}| \in (0,006; 0,009]$, $\beta_{\Delta M} \in [0,3; 0,6]$.

ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ УЧАСТКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

3.1 Организация стабильного пропуска транзитных грузовых поездов на направлении железной дороги с учетом технических и технологических особенностей работы технических станций и перегонов

Пропускная способность двухпутных перегонов, оборудованных автоблокировкой, согласно [1, 27, 36, 55] определяется соотношением:

$$N_{\text{пер}} = \frac{1440 - t_{\text{техн}}}{I} \cdot \alpha_{\text{н}}, \quad (3.1)$$

где

1440 – суточный лимит времени, мин.;

I – расчетный межпоездной интервал, мин.;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий надежность работы технических средств;

$t_{\text{техн}}$ – продолжительность свободного от поездов промежутка времени, предоставляемого в графике движения для выполнения работ по текущему содержанию объектов инфраструктуры, мин.

Проведем расчеты для условного железнодорожного участка. Примем, что $\alpha_{\text{н}} = 0,95$, $t_{\text{техн}} = 120$ мин., $I = 10$ мин. В этом случае суточный лимит времени для пропуска пассажирского и грузового движения составит $0,95 \cdot (1440 - 120) = 1254$ мин. С учетом коэффициента съема (в примере примем 1,7) для пропуска 20 пар пассажирских поездов, следующих с интервалом 10 мин, будет выделено 340 мин в сутки. При таком же десятиминутном интервале максимальное количество грузовых поездов, которые могут быть пропущены в течении суток по участку, будет равно $(1254 - 340) / 10 = 91$ грузовой поезд.

От чего зависит пропуск поездов через техническую станцию? От пропускной способности её элементов: горловин парков станции и самих парков.

Обратимся к пропускной способности парка станции, которая согласно [30] определяется:

$$N_{\text{гр}} = \frac{1440 \cdot m - \sum T_{\text{пост}}}{t_{\text{зан}}}, \quad (3.2)$$

где

m – количество приёмоотправочных путей парка;

$\sum T_{\text{пост}}$ – время занятия пути в течение суток для выполнения постоянных операций, мин.;

$t_{\text{зан}}$ – средневзвешенное время занятия пути одним поездом, мин.

Проведем расчеты для условной технической станции с двумя парками для пропуска грузовых поездов по пять приёмоотправочных путей и технологическим временем занятия одного пути шестьдесят минут. Пропускная способность такой станции составит $1440 \cdot 5 / 60 = 120$ грузовых поездов в каждом направлении. Расчеты показывают, что для данного условного участка железнодорожной линии и входящей в него технической станции пропускная способность будет лимитирована пропускной способностью перегона. Следует отметить, что, если пропускная способность станции меньше размеров поездопотока, предъявленного к обращению по рассматриваемому участку железной дороги, то перед ней поезда не смогут следовать по ниткам графика по зеленым огням светофоров, а образуют очередь, которая существенным образом определяет снижение участковой скорости.

В случае, если принять среднесуточные размеры железнодорожного направления на уровне 70 пар грузовых поездов, то резервы пропускной способности перегона составят 30%, а технической станции — 71%. Это достаточно большие резервы, чтобы не испытывать сложности при организации пропуска поездов. Тем не менее, реалии эксплуатационной работы железных дорог показывают, что обеспечение таких среднесуточных размеров движения вызывает затруднения и сопряжено с потерей качества эксплуатационной работы. Особо следует отметить, что в период ремонтно-путевых кампаний пропускная способность существенно снижается за счет предоставления «окон» и расчетные

резервы пропускной способности не компенсируют реальные потери пропускной способности от «окон» на ремонт и содержание инфраструктуры. Анализируя статистические параметры работы направления Транссиба в границах Забайкальской железной дороги, которые представлены в § 2.2.1 – 2.2.3 диссертации можно сделать промежуточные выводы, что основные потери в пропуске грузовых поездов связаны с работой технических станций.

3.2 Математическая модель для оценки рациональных показателей поездопотока в зависимости от числа приемоотправочных путей и времени их занятия

На рисунке 3.1 приведен идеализированный график организации движения поездов между станциями А и В. По ниткам графика со станции А поезда отправляются с интервалом – I_A , на трех приемоотправочных путях (ПОП) станции В выполняются технические операции по обслуживанию грузовых поездов – $t_{\text{тех}}$.

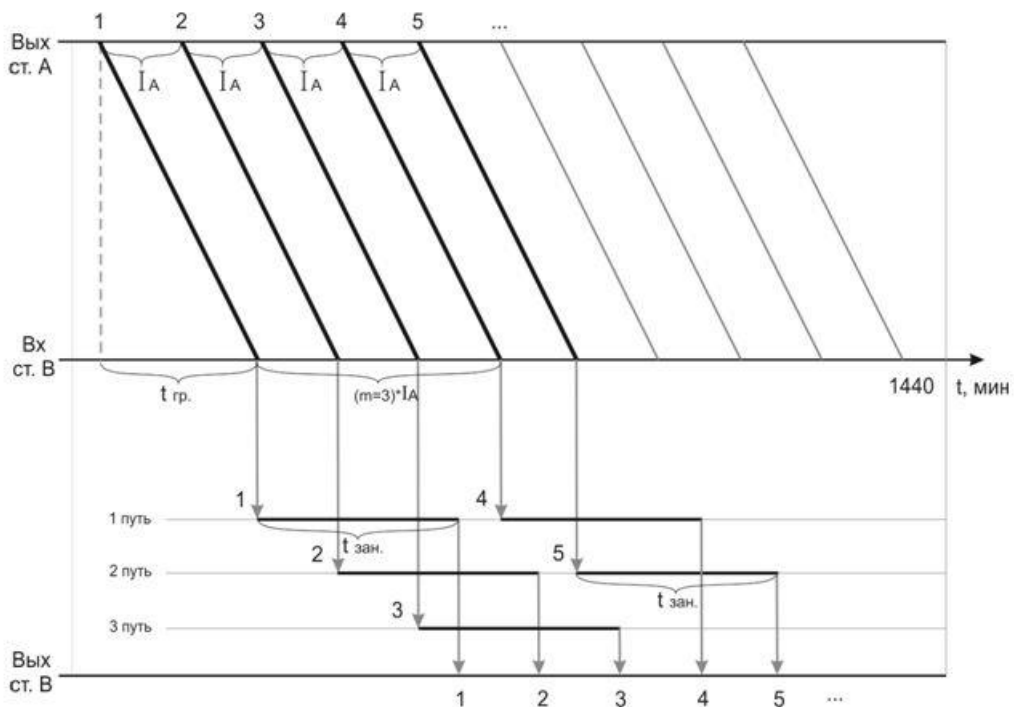


Рисунок 3.1. Идеализированный график организации движения поездов со станции А через станцию В

С учетом занятости ПОП во время приема и отправления поездов – $t_{по}$ выражение для суммарного времени занятия пути – $t_{зан}$ принимает вид:

$$t_{зан} = t_{тех} + t_{по} \quad (3.3)$$

Для рассматриваемого графика движения поездов пропускная способность парка станции определяется выражением (3.2), при этом отметим важное для дальнейшего рассмотрения соотношение. В идеальном случае равномерное движение поездов с определенной сдвижкой по станции В обеспечивается при

$$m \cdot I_A \geq t_{зан} \quad (3.4)$$

В противном случае возникают задержки поездов перед приемом на станцию В.

Рассмотрим условную техническую станцию, где в наличии три приемоотправочных пути, время занятия пути – $t_{зан}$ составляет 1 час, в том числе 10 минут на прием и отправление поезда – $t_{по}$, и интервал отправления – I_A поездов с соседней станции А равен 10 минут, время хода по графику – $t_{гр}$ – 30 минут, расстояние между ст. А и ст. В – 30 км.

Соответствующий принятым показателям условный график приведен на рисунке 3.2.

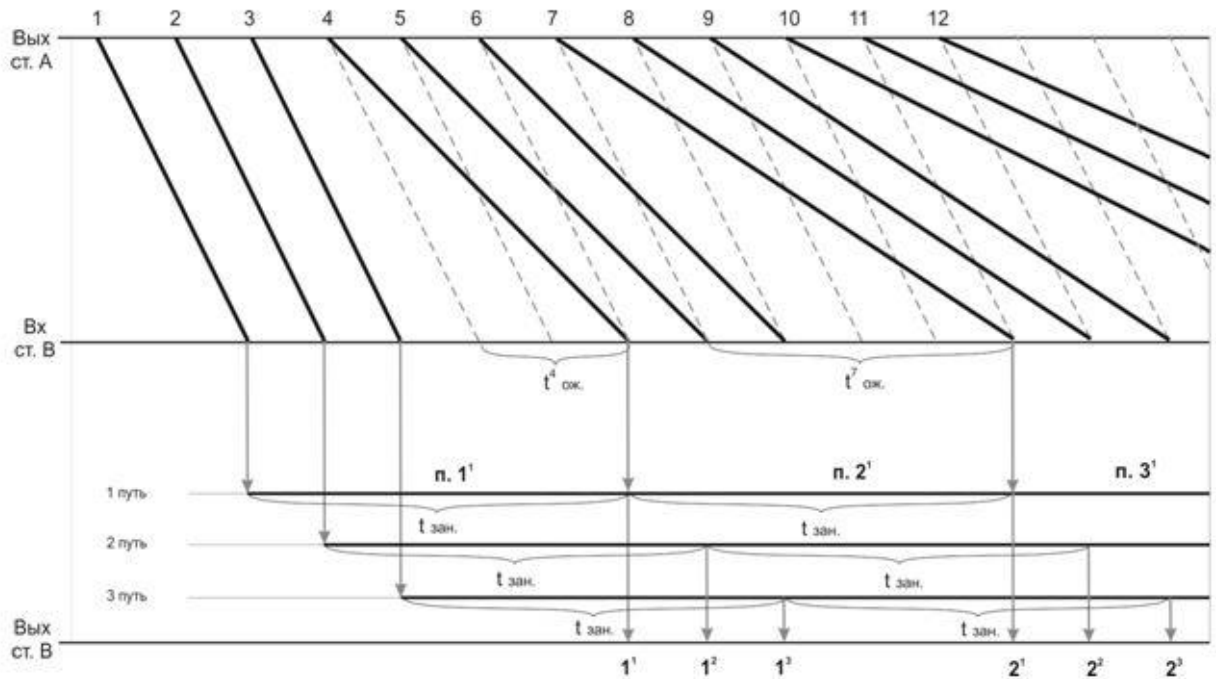


Рисунок 3.2. Условный график исполненного движения

Наглядно видно, что при этом станция В не обеспечивает беспрепятственный прием поездов, происходят задержки поездов перед станцией и выделяется время ожидания каждым поездом приема на станцию В. Пунктиром отмечены нитки нормативного графика с межпоездным интервалом в 10 мин. Наклон ниток графика определяется временем хода по графику – 30 мин и принятой технической скоростью – 60 км/ч. Поезда по этим ниткам графика 1, 2 и 3 отправляются со станции А при свободных приемоотправочных путях станции В последовательно с принятым нормативным интервалом – I_A

На рисунке 3.2 первые три поезда, образующие первый «пакет», следуют по графику и занимают приемоотправочные пути станции В на время технического обслуживания с учетом времени приема и отправления поездов с этих путей. Четвертый поезд не может быть принят на станцию В в момент, определяемый ниткой графика №4, по которой он был отправлен со станции А, так как все пути на станции В в этот момент заняты. Четвертый поезд может быть принят только после освобождения первого пути поездом номер один.

Время ожидания приема четвертым поездом – $t_{ож}^4$ может быть определено как разность между $t_{зан}$ и $3I_A$

$$t_{ож}^4 = t_{зан} - 3I_A \quad (3.5)$$

Нитки графика пятого и шестого поездов идут параллельно нитке четвертого и, соответственно, $t_{ож}^5$ и $t_{ож}^6$ равны $t_{ож}^4$.

Прослеживается закономерность. Рассмотрены два «пакета» поездов. Размеры пакетов – число поездов в пакете – определяются числом приемоотправочных путей на станции В – ($m = 3$). Третий пакет включает нитки поездов – 7, 8 и 9. При этом

$$t_{ож}^7 = 2t_{зан} - 2 \cdot 3I_A \quad (3.6)$$

и, соответственно, $t_{ож}^8 = t_{ож}^9 = t_{ож}^7$.

По аналогии

$$t_{ож}^{10} = 3t_{зан} - 3 \cdot 3I_A \quad (3.7)$$

и, соответственно, $t_{ож}^{11} = t_{ож}^{12} = t_{ож}^{10}$.

С учетом равенств (3.5), (3.6), (3.7) в обобщенном виде можем записать соотношение для времени ожидания приема на станцию В i -го поезда при m приемоотправочных путях и отправлении поездов со станции А равномерно с интервалом $- I_A$.

$$t_{ож}^i = \left\lfloor \frac{i-1}{m} \right\rfloor \cdot (t_{зан} - m \cdot I_A), \quad (3.8)$$

где

$\left\lfloor \frac{i-1}{m} \right\rfloor$ – специально введенная функция двух переменных – i и m , принимающая целые значения числа, округляемого в меньшую сторону после выполнения действий в квадратных скобках;

i – изменяется в пределах от 1 до $n_{гр}$.

Следует отметить, что при $t_{зан} - m \cdot I_A > 0$ поезда задерживаются на приеме перед станцией В и следуют не так, как это предусмотрено идеальной технологией организации пропуска поездопотока по расписанию, а с ожиданием

$$t_{ож}^i = \begin{cases} \left\lfloor \frac{i-1}{m} \right\rfloor \cdot (t_{зан} - m \cdot I_A), & \text{при } t_{зан} \leq m \cdot I_A \\ 0, & \text{при } t_{зан} > m \cdot I_A \end{cases} \quad (3.9)$$

Суммарное время ожидания при пропуске $N_{гр}$ поездов – $T_{ож}$ может быть определено из соотношения:

$$\begin{aligned} T_{ож} &= \sum_{i=1}^{n_{гр}} t_{ож}^i = 1 \cdot (t_{зан} - m \cdot I_A) \cdot m + 2 \cdot (t_{зан} - m \cdot I_A) \cdot m + \dots \\ &+ \left(\frac{n_{гр}}{m} - 1 \right) \cdot (t_{зан} - m \cdot I_A) \cdot m = \\ &= m \cdot (t_{зан} - m \cdot I_A) \cdot \left[1 + 2 + 3 + \dots + \left(\frac{n_{гр}}{m} - 1 \right) \right] \end{aligned} \quad (3.10)$$

После выполнения соответствующего суммирования членов арифметической прогрессии получим:

$$T_{ож} = \frac{n_{гр}}{2} \cdot (t_{зан} - m \cdot I_A) \cdot \left(\frac{n_{гр}}{m} - 1 \right), \quad (3.11)$$

Можно посчитать среднее время ожидания приёма поездов на станцию В при заданном поездопотоке:

$$t_{ож}^{ср} = \frac{T_{ож}}{N_{гр}} \quad (3.12)$$

ИЛИ

$$t_{\text{ож}}^{\text{ср}} = 0,5 \cdot (t_{\text{зан}} - m \cdot I_A) \cdot \left(\frac{n_{\text{гр}}}{m} - 1 \right) \quad (3.13)$$

Проведем расчеты $t_{\text{ож}}^{\text{ср}}$ и $T_{\text{ож}}$ для следующих значений рассматриваемых параметров: $m = 6$ путей, $t_{\text{зан}} = 90$ мин., $I_A = 10$ мин., $n_{\text{гр}} = 60$ поездов:

$$T_{\text{ож}} = \frac{60}{2} \cdot (90 - 6 \cdot 10) \cdot \left(\frac{60}{6} - 1 \right) = 8100 \text{ мин.}$$

$$t_{\text{ож}}^{\text{ср}} = 8100/60 = 135 \text{ мин.}$$

Кроме этого, проведем расчеты для следующих значений параметров: $m = 7$ путей, $t_{\text{зан}} = 120$ мин., $I_A = 15$ мин. и $m = 8$ путей, $t_{\text{зан}} = 180$ мин., $I_A = 20$ мин. для размеров движения $n_{\text{гр}} \in [40; 70]$ с периодом 5 поездов. Результаты сведем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Значения $t_{\text{ож}}^{\text{ср}}$ и $T_{\text{ож}}$ при различных вариантах соотношения параметров m , $t_{\text{зан}}$, I_A , $N_{\text{гр}}$.

$m = 6, t_{\text{зан}} = 90, I_A = 10$			$m = 7, t_{\text{зан}} = 120, I_A = 15$			$m = 8, t_{\text{зан}} = 180, I_A = 20$		
$n_{\text{гр}}$	$T_{\text{ож}}$	$t_{\text{ож}}^{\text{ср}}$	$n_{\text{гр}}$	$T_{\text{ож}}$	$t_{\text{ож}}^{\text{ср}}$	$n_{\text{гр}}$	$T_{\text{ож}}$	$t_{\text{ож}}^{\text{ср}}$
40	3400,0	85,0	40	1414,3	35,4	40	1600,0	40,0
45	4387,5	97,5	45	1832,1	40,7	45	2081,3	46,3
50	5500,0	110,0	50	2303,6	46,1	50	2625,0	52,5
55	6737,5	122,5	55	2828,6	51,4	55	3231,3	58,8
60	8100,0	135,0	60	3407,1	56,8	60	3900,0	65,0
65	9587,5	147,5	65	4039,3	62,1	65	4631,3	71,3
70	11200,0	160,0	70	4725,0	67,5	70	5425,0	77,5

С помощью выражения (3.13) можно оценить среднюю участковую скорость движения поездов на участке А-В:

$$v_{\text{уч}}^{\text{ср}} = \frac{60S}{t_{\text{гр}} + t_{\text{ож}}^{\text{ср}}} \quad (3.14)$$

где

S – расстояние между станциями А и В, км;

$t_{гр}$ – время следования поезда по графику, мин.

При заданной технической скорости – $v_{тех}$ графиковое время может быть выражено как отношение расстояния между А и В и $v_{тех}$:

$$t_{гр} = \frac{60S}{v_{тех}} \quad (3.15)$$

С учетом (3.15) выражение (3.14) может быть представлено в виде:

$$v_{уч}^{cp} = \frac{60S}{\frac{60S}{v_{тех}} + t_{ож}^{cp}} \quad (3.16)$$

На рисунке 3.3 представлены зависимости средней участковой скорости $v_{уч}^{cp}$ от числа станционных путей при двух значениях расстояния S между станциями А и В, равных 30 и 60 км, и при $I_A = 10$ мин, $t_{зан} = 80$ мин.

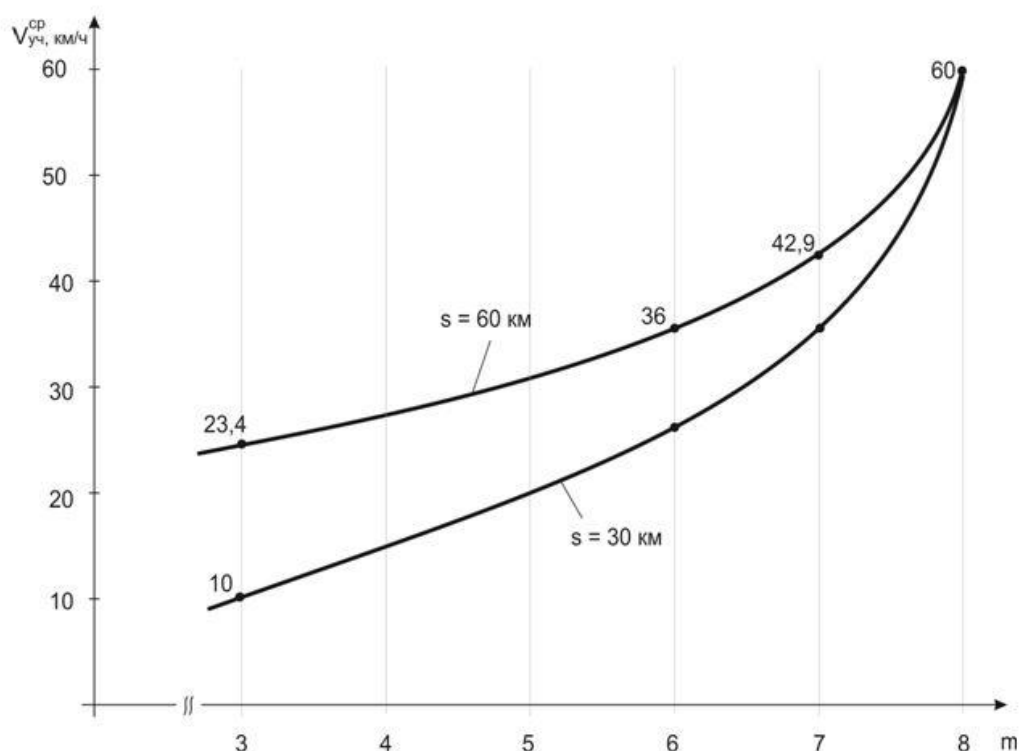


Рисунок 3.3. Зависимости средней участковой скорости $v_{уч}^{cp}$ от числа станционных путей, при двух значениях расстояния – S между станциями А и В, равных 30 и 60 км и при $I_A=10$ мин, $t_{зан}=80$ мин.

На рисунке 3.4 приведены зависимости пропускной способности станции В и пограничного значения интервала приема поездов на станцию В – I_0 от числа станционных путей для обработки транзитных грузовых поездов и времени

занятия путей. По этим данным, носящим универсальный характер, можно отметить условия, при которых пропускная способность станции в рассматриваемом направлении составляет, к примеру, 60 поездов в сутки. Для этого число станционных путей должно быть около пяти и время занятия пути поездом – не более 2 ч.

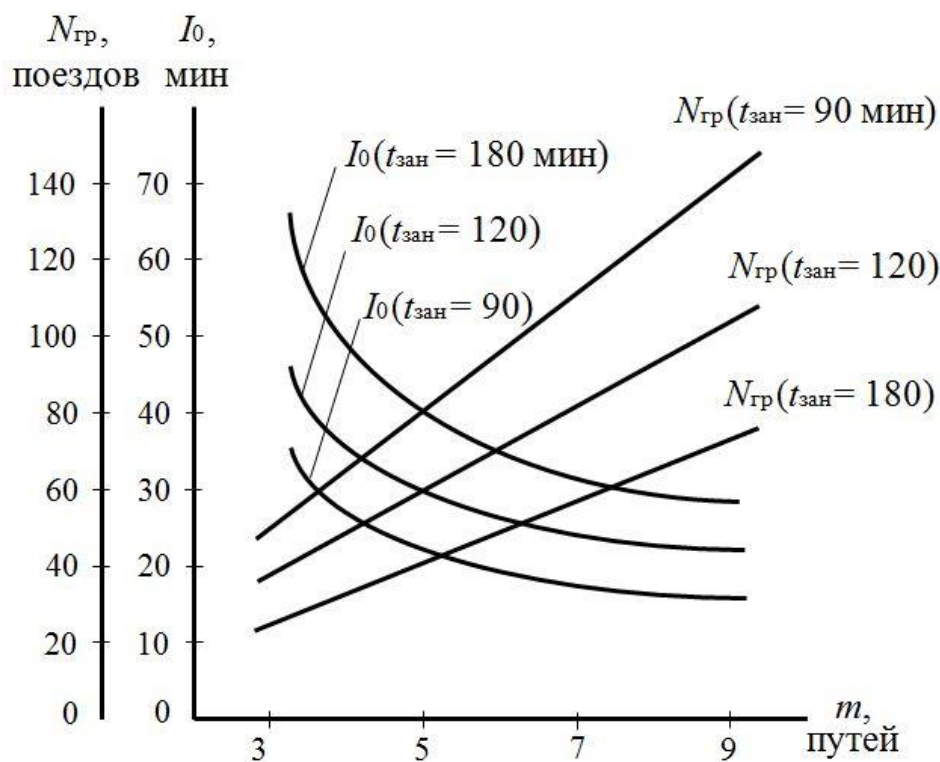


Рисунок 3.4. Зависимости пропускной способности $N_{гр}$ станции В и интервала приема поездов станцией I_0 от числа станционных путей m для обработки транзитных грузовых поездов и времени занятия пути $t_{зан}$

При увеличении времени занятия до 3 ч для обеспечения пропуска 60 поездов в сутки число путей необходимо увеличить до семи. При этом граничные значения интервалов приема поездов составляют в обоих случаях около 25 мин. Даже при числе станционных путей, равном девяти, при трехчасовой задержке поездов на станции В граничное значение интервала I_0 составляет около 20 мин и пропускная способность при этом – около 72 поездов в сутки. При использовании девяти станционных путей и снижении времени задержки поездов до 1,5 ч пропускная способность станции удваивается.

Рассмотренные параметры отражаются на времени ожидания поездами приема на станцию В и величинах участковых скоростей на участке перед

лимитирующей станцией. Для трех значений интервалов отправления поездов со станции А на станцию В, равных 10, 15 и 20 мин, определим какими будут величины участковых скоростей и средних времен ожидания для одного усредненного поезда на участке А–В (см. рисунок 3.5).

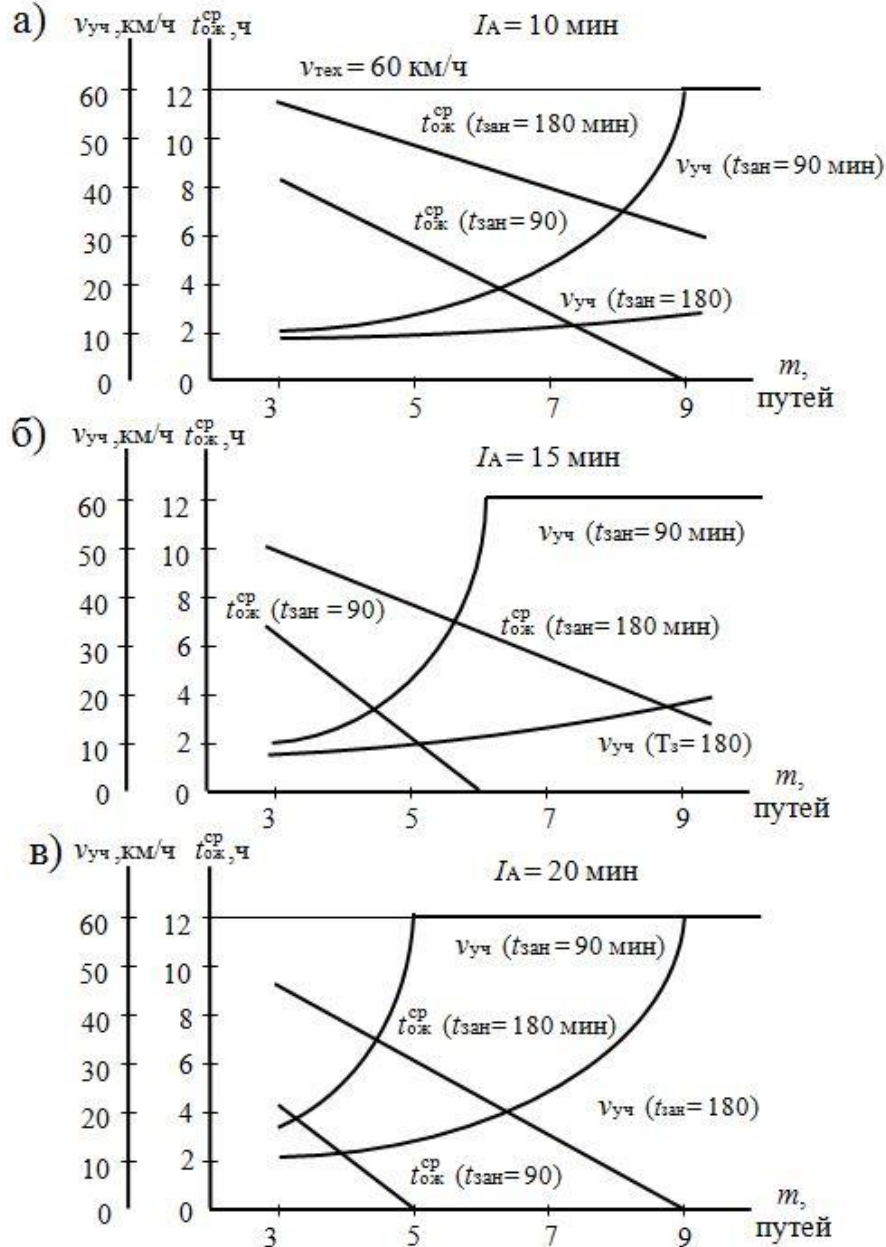


Рисунок 3.5. Зависимости участковой скорости и среднего времени ожидания одного поезда на перегоне между станциями А и В от числа путей на станции В и времени задержки на ней поездов, отправляемых со станции А с интервалом I_A , равным, соответственно, 10, 15 и 20 мин.

На рисунке 3.5, а) беспрепятственный прием поездов станцией В обеспечивается при девяти станционных путях и продолжительности выполнения технических операций с поездом 1,5 ч. При этом время ожидания приема равно

нулю. При нахождении поезда на станции в течение 3 ч. участковая скорость составляет около 14 км/ч и задержка приема одного усредненного поезда – около 7 ч. При пропускной способности станции 72 поезда в сутки, девяти станционных путях и времени задержки поезда под техническими операциями 3 ч суммарное время ожидания приема потоком грузовых поездов в рассматриваемом направлении составит 504 поездочаса в сутки.

При интервале $I_A = 15$ мин (рисунок 20, б) благоприятная ситуация для приема и пропуска поездов через станцию В возникает при меньшем числе станционных путей, равном шести, и времени нахождения поезда на станции 1,5 ч. При работе на девяти станционных путях и времени нахождения на станции 3 ч участковая скорость увеличивается по сравнению с вариантом $I_A=10$ до 20 км/ч, а время ожидания одним усредненным поездом на участке в среднем за сутки уменьшается до 3,5 ч.

При величине интервала I_A , равной 20 мин (рисунок 20, в), беспрепятственный пропуск поездов стал возможен при девяти путях и времени нахождения поезда на станции 3 ч или при пяти путях и продолжительности нахождения на станции 1,5 ч. При пяти путях и времени занятия пути на станции 3 ч участковая скорость составила около 14 км/ч, а время ожидания усредненного поезда на участке – около 6 ч.

3.3 Статистическая оценка пропускной способности технической станции Карымская в условиях реальной эксплуатации

Обратимся к элементу рассматриваемых соотношений – времени занятия пути поездом $t_{зан}$. Время занятия приемоотправочного пути определяется установленной технологией работы технической станции. Можно выделить четыре варианта сочетаний технологических операций работы станции:

- на смену локомотивной бригады нормативное время $t_{тех}$ в зависимости от местных условий устанавливается в пределах 30÷35 мин.;

- при смене локомотивной бригады и техническом (коммерческом) осмотре состава $t_{\text{тех}}$ равно $45 \div 55$ мин.;

- при смене поездного локомотива $t_{\text{тех}}$ принимается равным от 45 до 60 мин.;

- на смену поездного локомотива и технический (коммерческий) осмотр состава $t_{\text{техн}}$ составляет от 65 до 75 минут.

В первом случае норматив времени занятия приемоотправочных путей будет минимальным, в последнем – максимальным. С учетом таких нормативов, устанавливаемых на основе технологических процессов станций, в соответствии с соотношением (3.2) и при $I_A=10$ мин время ожидания приема поезда будет равно нулю и, соответственно, обеспечено равномерное движение поездов для станций со сменой локомотивных бригад при $m \geq 5$ для станций со сменой локомотивов при $m \geq 9$.

Эти оценки показывают, что принятое путевое развитие для технических станций в пределах 5-9 приемоотправочных путей должно обеспечивать заданные параметры пропуска грузовых поездов без влияния на стабильность их пропуска. В отдельных случаях в реальных условиях организации перевозочного процесса эти представления не подтверждаются.

На рисунке 3.6 показана диаграмма рассеивания среднесуточного простоя грузовых транзитных поездов и среднесуточных размеров движения на станции Могоча Забайкальской железной дороги за каждый месяц с 2008 по 2012 гг.

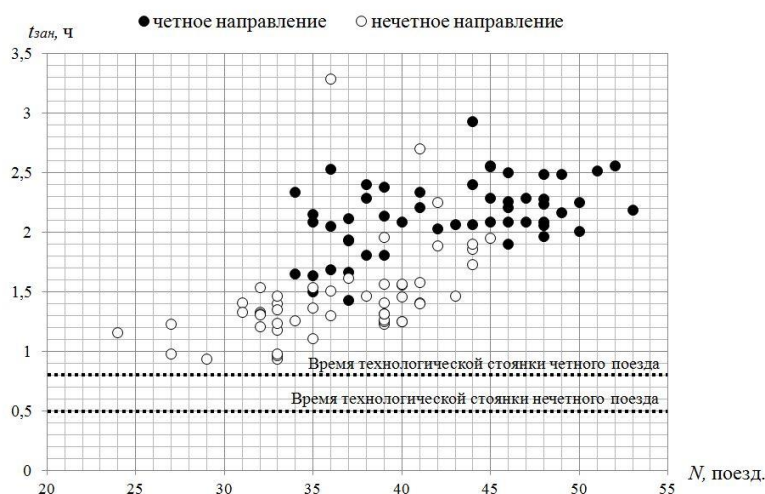


Рисунок 3.6. Диаграмма рассеивания среднего простоя транзитных поездов и среднесуточных размеров движения за каждый месяц в период с 2008 по 2012 гг. на станции Могоча

Простой по каждому направлению выше нормативов, установленных технологическим процессом работы станции, у четных поездов простой в среднем за четыре года в 2,7 раза больше нормативного параметра, у нечетных – в 2,9 раза. С учетом этого соотношение (3.3) для занятости пути поездом может быть дополнено слагаемым – $t_{\text{доп}}$:

$$t_{\text{зан}} = t_{\text{по}} + t_{\text{тех}} + t_{\text{доп}}, \quad (3.17)$$

где $t_{\text{доп}}$ – время, которое связано с различными технологическими и нетехнологическими потерями: регулировка отправления поездов поездными диспетчерами на «окна», за пассажирскими поездами; с учетом ожидания смены локомотивов, локомотивных бригад, окончания обработки составов, устранения неисправностей локомотивов; отцепки технических и коммерческих «браков» и других случаев.

Для удобства расчетов, объединив $t_{\text{по}}$ и $t_{\text{тех}}$, так как время приема, отправления поезда и время на выполнение технологических операций является фиксированным для каждой технической станции в зависимости от путевого развития горловин, парков и установленных технологических операций, получим в общем виде:

$$t_{\text{зан}} = t_{\text{техн}} + t_{\text{доп}}, \quad (3.18)$$

Полученные результаты по станции Могоча являются характерными и для других технических станций Забайкальской железной дороги. Это говорит о важности рассмотрения пропускных способностей технических станций с учетом объективности увеличения времени занятия приемоотправочных путей.

Для определения пропускных способностей парков технических станций можно использовать полученную в соответствии с нормативным соотношением (3.2) номограмму на рисунке 3.7, на которой в зависимости от количества приемоотправочных путей в парке станции и среднего времени занятия пути можно рассчитывать пропускную способность станции. К примеру, если среднее время занятия поездом приемоотправочного пути два часа и парк станций - пять путей, то станция за сутки может пропустить 60 поездов. При увеличении числа путей до семи пропускная способность увеличится до 85 поездов.

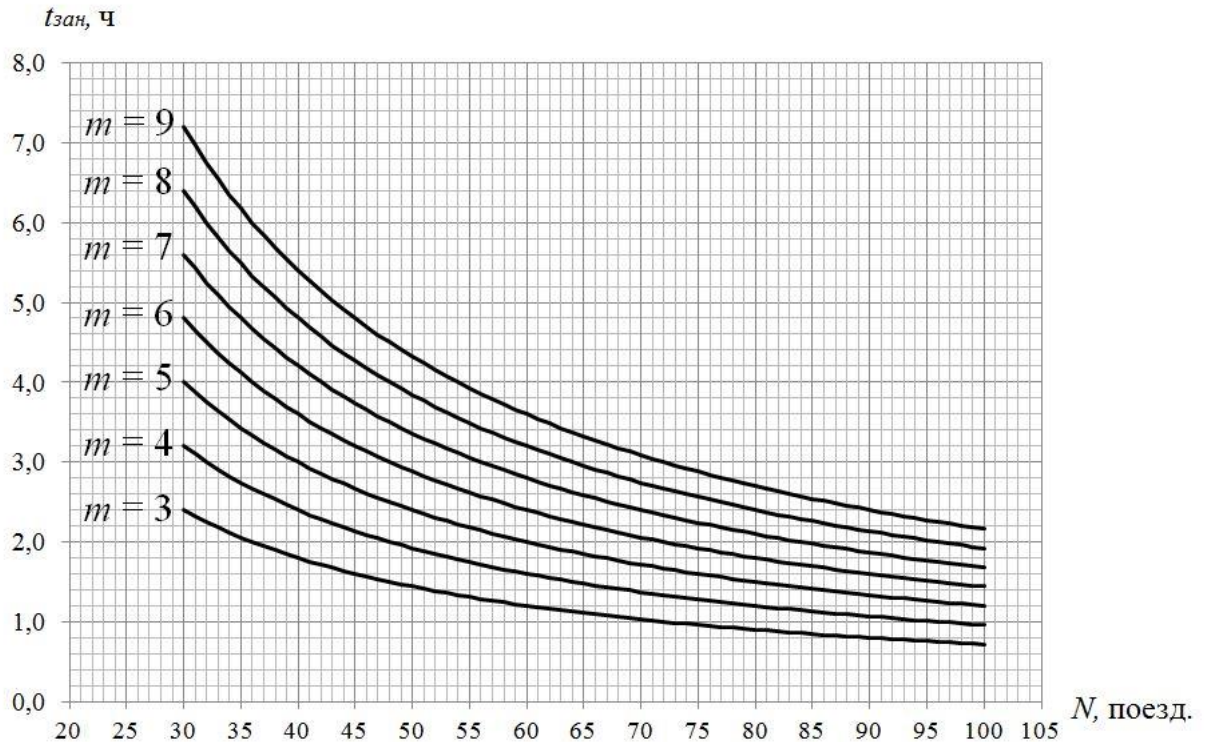


Рисунок 3.7. Номограмма вычисления пропускной способности парка технической станции

На примере станции Карымская рассмотрим изменение параметров работы станции после проведения реконструкционных работ. В период с 2009 по 2011 гг. проведена реконструкция станции с вводом в эксплуатацию приемоотправочного парка Д. В конце 2009 г. построено 5 путей в этом парке, которые специализировали преимущественно для нечетного направления, в парке А у двух путей изменили специализацию с приема нечетных поездов на прием четных. В конце 2011 г. введены в работу еще 5 путей парка Д, после этого парк Д из 10 приемоотправочных путей специализировали для четных поездов и 3 пути парка Б для нечетных. То есть до 2010 г. для пропуска четных поездов на станции Карымская было предназначено 6 приемоотправочных путей, с 2010 по 2011 гг. использовалось 8 путей и, соответственно, с конца 2011 г. - 13 путей. Эти мероприятия были направлены на усиление возможностей пропуска четного потока грузовых поездов.

Для оценки изменения пропускной способности станции Карымская в период поэтапного усиления ее мощности на рисунке 3.8 наложим диаграмму

рассеивания простоев поездов и размеров движения в четном направлении с 2008 по 2012 гг. на номограмму расчета пропускной способности станции Карымская.

По точкам, показывающим параметры работы узла за каждый месяц периода, наглядно видно, что с увеличением емкости станции увеличивается и среднее время занятия пути. Белые точки периода 2008-2009 г. приближены к кривой $m = 6$, часть серых точек (2010-2011 гг.) накладывается на кривую $m = 8$, при этом черные точки (2012 г.) соответствуют простоям 4 и более часов, приближаясь к кривой $m = 13$. Эти данные показывают, что очевидные мероприятия по увеличению пропускной способности станции Карымская – увеличение числа приемоотправочных путей не привели к успеху, так как одновременно параллельно увеличивалось время занятия станционных путей.

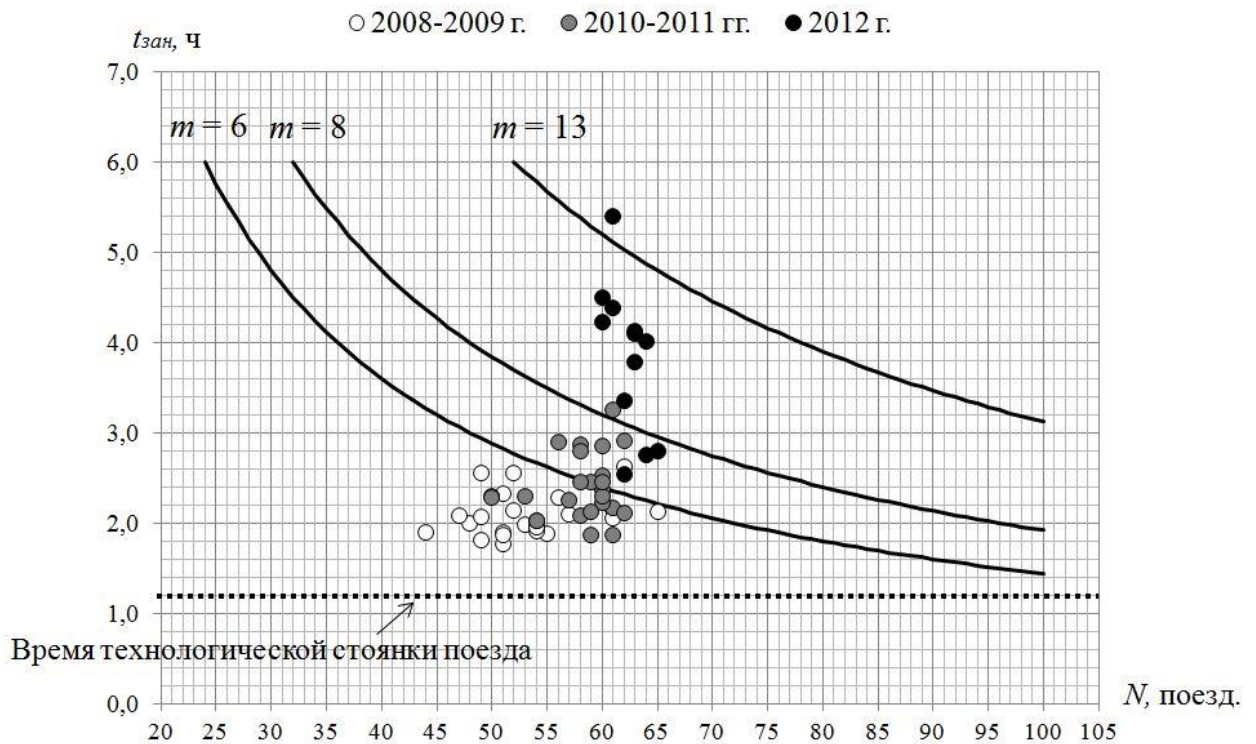


Рисунок 3.8. Диаграмма рассеивания среднего простоя четных транзитных поездов на станции и размеров движения за каждый месяц в период с 2008 по 2012 гг., наложенная на номограмму расчета пропускной способности станции Карымская при поэтапном увеличении емкости станции (ввод в эксплуатацию приемоотправочного парка Д: I этап – конец 2009 г., II этап – конец 2011 г.).

Подробно причины значительного роста простоя по станции Карымская определены в § 2.2.3 диссертации. Связаны они с дефицитом локомотивов для

вывоза четного потока со станции Карымская, который имел систематический характер в рассматриваемый период времени.

Чтобы оценить пропускную способность станции Карымская отобразим на рисунке 3.9 зависимость усредненного времени занятия пути от количества поездов, полученную при аппроксимации данных параметров выборки на рисунке 3.8. Пересечение кривых $m = 6$, $m = 8$, $m = 13$ с кривой средневзвешенной реализованной пропускной способности станции Карымская до и после проведения реконструкционных работ находятся в узком диапазоне от 58 до 63 поездов. Пропускная способность четной системы в рассматриваемый период равнялась соответственно этим величинам, что значительно ниже расчетных параметров, определяемых согласно нормативам [36].

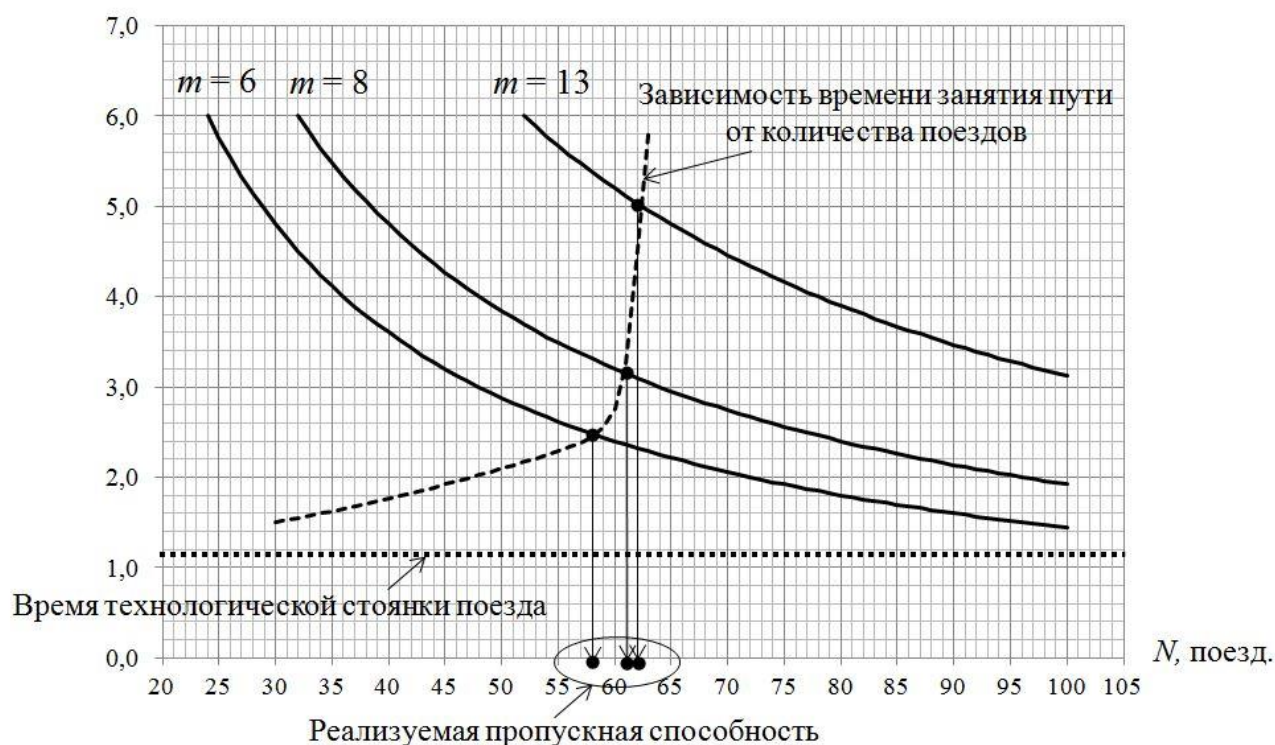


Рисунок 3.9. Зависимость времени занятия пути от количества поездов по итогам работы в период с 2008 по 2012 гг., наложенная на номограмму вычисления пропускной способности станции Карымская.

На анализе этого важного обстоятельства остановимся подробнее. Статистический анализ причин задержки четных поездов на ст. Карымская и очень низких участковых скоростей четного потока на участке Чита – Карымская в § 2.2.3 позволил установить основную причину этого – недостаточное

количество локомотивов, поступающих на ст. Карымская с Восточного полигона с нечетным потоком грузовых поездов. Недостаток локомотивов определил увеличенное время занятости путей в четном парке станции и, соответственно, пропускную способность четной системы станции Карымская при числе приемоотправочных путей $m = 6$ на уровне 60 поездов в сутки при продолжительности занятости ПОП на уровне 2,5 часа. В § 2.2.3 показано, что 65% от времени занятости путей составляет время ожидания локомотива. Этим и определяется наличная пропускная способность ст. Карымская. Сколько локомотивов подвели к станции с восточного участка, столько и отправили четных поездов на восток.

Классическая формула (3.2) в данном случае не позволяет объяснить сложившуюся ситуацию, число поездов в четном направлении через станцию практически фиксировано и при увеличении числа станционных путей время занятости путей должно было бы пропорционально уменьшаться, а в нашем случае оно пропорционально увеличивается.

Без увеличения количества локомотивов, обращающихся на Восточном полигоне Забайкальской железной дороги, без организации неснижаемого запаса локомотивов на ст. Карымская для сглаживания неравномерности при их подсылке пропускная способность четной системы станции ограничивается статистически значимой величиной на уровне 60 поездов в сутки. Емкость станции при переходе от 6 ПОП к 13 увеличивается практически в два раза и из классического соотношения мы получаем соотношение

$$N_{\text{гр}}^{\text{фикс}} = \frac{1440 \cdot m}{t_{\text{зан}}},$$

из которого следует

$$t_{\text{зан}}^6 = \frac{1440 \cdot 6}{N_{\text{гр}}^{\text{фикс}}} \text{ и } t_{\text{зан}}^{13} = \frac{1440 \cdot 13}{N_{\text{гр}}^{\text{фикс}}} \text{ и отношение } \frac{t_{\text{зан}}^{13}}{t_{\text{зан}}^6} = \frac{13}{6}.$$

При этом принципиально важным является интервал попутного следования поездов четного направления. Если бы в соответствии с рассматриваемыми соотношениями $(t_{\text{зан}} - m \cdot I_A) \leq 0$ и, соответственно, $I_A \geq t_{\text{зан}}/m$, проходили бы без дополнительных задержек через станцию Карымская при $t_{\text{зан}} \approx 2,5$ часа.

В нашем случае, очевидно, $I_A < t_{\text{зан}}/m$. С учетом этого емкость станции заполняется увеличенным вдвое числом поездов, которые ждут отправления в два раза дольше – около 5 часов. Перед станцией на прием возникает очередь поездов и, соответственно, снижается участковая скорость.

Из этого анализа следует необходимость рассматривать пропускную способность направления в комплексе, учитывая взаимозависимость технических и технологических процессов на станциях направления и участках пропуска поездопотоков между станциями. Это особенно важно при планировании мероприятий по усилению пропускной способности направлений, при отработке полигонных технологий. В 70-ые годы профессор А.М. Макарович в [57] определил, что *«... необходимо взаимоувязанное определение мощности соответствующих элементов транспортной системы: а измерители использования каждого из них должны объективно служить одной цели – наиболее экономичному продвижению вагонопотоков на сети. При ощущаемой диспропорции развития основных звеньев транспортной системы взаимоувязанный или комплексный подход к решению их развития даст возможность недостатки одного звена устранить за счет избыточной мощности другого. Например, можно для создания лучших условий пропуска поездопотока на направлении при существующем локомотивном парке обеспечить дополнительное путевое развитие станции... Но в сущности для чего будут использоваться эти дополнительные пути? Не более как для обеспечения стоянки поездов для ожидания локомотивов... Станция превратится в своеобразную «камеру хранения...».* Данные слова подтверждены исследованиями и расчетами, проведенными в рамках диссертации. Кроме этого впервые получена динамическая математическая модель, связывающая основные показатели потока поездов, параметры графика движения при их следовании к станции, число станционных приемоотправочных путей и время занятости этих путей под технической обработкой поездов и временами ожидания локомотивов. Данная модель, представленная в работе в виде соотношений (3.2)÷(3.17), позволяет объяснить и количественно оценить вышеизложенные процессы.

3.4 Определение лимитирующих элементов железнодорожного направления в стабильном пропуске поездопотоков

Существующая методика расчета пропускной способности технических станций и перегонов предполагает наличие значительных резервов в пропуске грузовых поездов. При этом ограничивающим звеном традиционно принято считать, с учетом необходимости предоставления «окон» на содержание объектов инфраструктуры, влияния отказов технических средств, съема ниток грузовых поездов пассажирскими, пропускную способность перегона, которая ограничена примерными параметрами в 90 грузовых поездов. Техническая станция с нормативным временем занятия пути порядка 1 час (при максимальном перечне технологических операций с поездами) способна пропустить такое количество поездов, имея парк на 4 пути. В реальных условиях эксплуатации на технической станции минимальное количество приемоотправочных путей равно 6-7, при этом значимые задержки поездов из-за занятости путей технических станций возникают при размерах движения грузовых поездов на 30-40% меньше расчетного параметра пропускной способности двухпутных перегонов.

Рассмотрим влияние одной технической станции на другую через построение условных графиков. На рисунке 3.10 показан условный график движения 10 поездов по железнодорожной линии АС, в которую входят три технические станции А, В, С. Для наглядности и упрощения расчетов примем, что расстояние между станциями равно 20 км (в реальных условиях расстояние варьируется от 100 до 300 км), время хода поезда t_x на участках АВ и ВС равно 20 мин., на технических станциях по одному приемоотправочному пути, время занятия приемоотправочного пути $t_{зан}$ равно 20 мин., интервал отправления со станции А I_A^{cp} равен 30 мин. Нумерация поездов начинается с 2002 по 2020, в скобках обозначены порядковые номера. Хорошо видно, что движение поездов равномерно и каждый поезд находится на линии АС равное количество времени, которое складывается из времени хода по двум участкам АВ и ВС и времени простоя на трех станциях и равно 100 минутам.

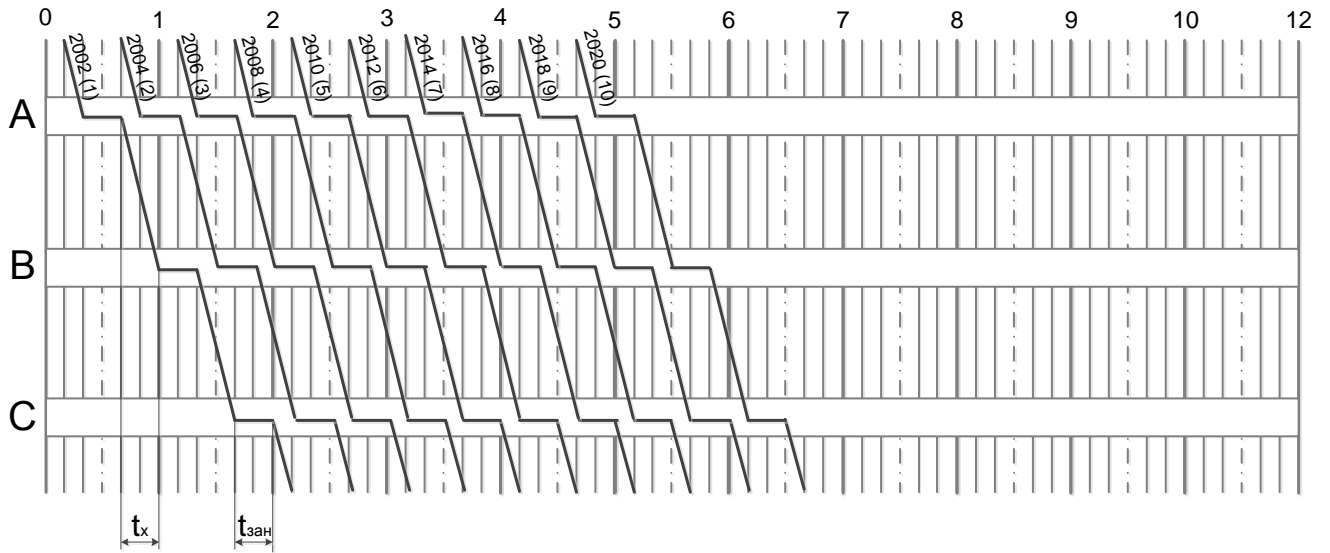


Рисунок 3.10. Условный график движения 10 поездов на участке AC со стоянками поездов на технических станциях А, В, С при равенстве времени занятия пути на каждой технической станции.

То есть время нахождения на участке i -го поезда равно

$$t_i^{AC} = t_{xi}^{AB} + t_{xi}^{BC} + t_{зани}^A + t_{зани}^B + t_{зани}^C, \quad (3.18)$$

где

t_{xi}^{AB} – время хода i -го поезда на участке АВ, мин.;

t_{xi}^{BC} – время хода i -го поезда на участке ВС, мин.;

$t_{зани}^A$ – время занятия приемоотправочного пути i -ым поездом на технической станции А, мин.;

$t_{зани}^B$ – время занятия приемоотправочного пути i -ым поездом на технической станции В, мин.;

$t_{зани}^C$ – время занятия приемоотправочного пути i -ым поездом на технической станции С, мин.

Суммарное время нахождения десяти поездов на линии AC (или количество поезdochасов) равно

$$T = \sum_{i=1}^n t_i^{AC} \quad (3.19)$$

Произведя расчеты, получим, что суммарное время T равно 1000 минутам или 16,7 часа. Кроме этого рассчитаем следующие показатели работы линии:

- участковую скорость поездов на каждом из двух участков и в целом на линии AC;

- средний простой поездов (или простой транзитного вагона без переработки) на каждой из трех технических станций и в целом на линии АС;

- маршрутную скорость линии АС;

- общие поездочасы T , в том числе поездочасы потерь $T_{\text{пот.}}$.

Участковая скорость для участка АВ $v_{\text{уч}}^{\text{AB}} = 60$ км/ч, для участка ВС $v_{\text{уч}}^{\text{BC}} = 60$ км/ч, в целом для линии АС $v_{\text{уч}}^{\text{AC}} = 60$ км/ч.

Средний простой поездов на технической станции определяется выражением:

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{\text{зан}i}, \quad (3.20)$$

где N – количество поездов, проследовавших через техническую станцию.

Средний простой на технической станции А $t_{\text{ср}}^{\text{A}} = 20$ мин или 0,33 часа, средний простой на технической станции В $t_{\text{ср}}^{\text{B}} = 20$ мин или 0,33 часа, средний простой на технической станции С $t_{\text{ср}}^{\text{C}} = 20$ мин или 0,33 часа. Средний простой на трех технических станциях $t_{\text{ср}}^{\text{ABC}}$ так же равен 20 мин или 0,33 часа.

Маршрутная скорость линии определяется выражением:

$$v_{\text{мар}} = n \cdot S / T, \quad (3.21)$$

где S – длина линии АС, км.

По принятым условиям длина линии АС равна 40 км, то есть маршрутная скорость поездов условной линии АС равна 24 км/ч или 576 км/сут.

Общие поездочасы определяются выражением (3.19) данного раздела диссертации и равны 16,7 часа. Так как ни у одного поезда нет отклонений во времени хода поездов по участку и их стоянке на технических станциях, то потери поездочасов равны нулю.

Время, которое тратится на проследование 10 поездов по линии АС в графике с тридцатиминутным интервалом, составляет менее 5 часов.

Для оценки взаимного влияния технических станций на данной линии примем следующие условия:

- время занятия пути на технической станции С увеличивается в два раза и составляет 40 минут (в реальной ситуации это возможно из-за наличия «окон»

большой продолжительности по ремонту и содержанию объектов инфраструктуры, ожидания тяговых ресурсов (локомотивов или локомотивных бригад), наличия отказов технических средств или событий, требующих ограничения движения поездов и т.д.);

- время хода поездов по участку не должно превышать более чем в 3-4 раза нормативное время хода (принятого в условии 20 мин.). Данное ограничение введено для приближения к реальным условиям, когда в случаях осложнения поездной ситуации время хода поездов увеличивается до нормативов непрерывной продолжительности работы локомотивной бригады, что требует ее смены на промежуточной станции или перегоне. Для исключения данной ситуации в реальной обстановке поездной диспетчер ограничивает отправление поездов с технической станции. На условном участке в случае увеличения времени хода поезда в три и более раза следующий поезд задерживается на технической станции до прибытия впереди идущего поезда на соседнюю станцию минус время хода поезда по участку и плюс интервал попутного прибытия поезда на станцию (равен 10 минутам).

Соблюдая первоначальные условия и принятые ограничения, построим график исполненного движения линии АС (см. рисунок 3.11).

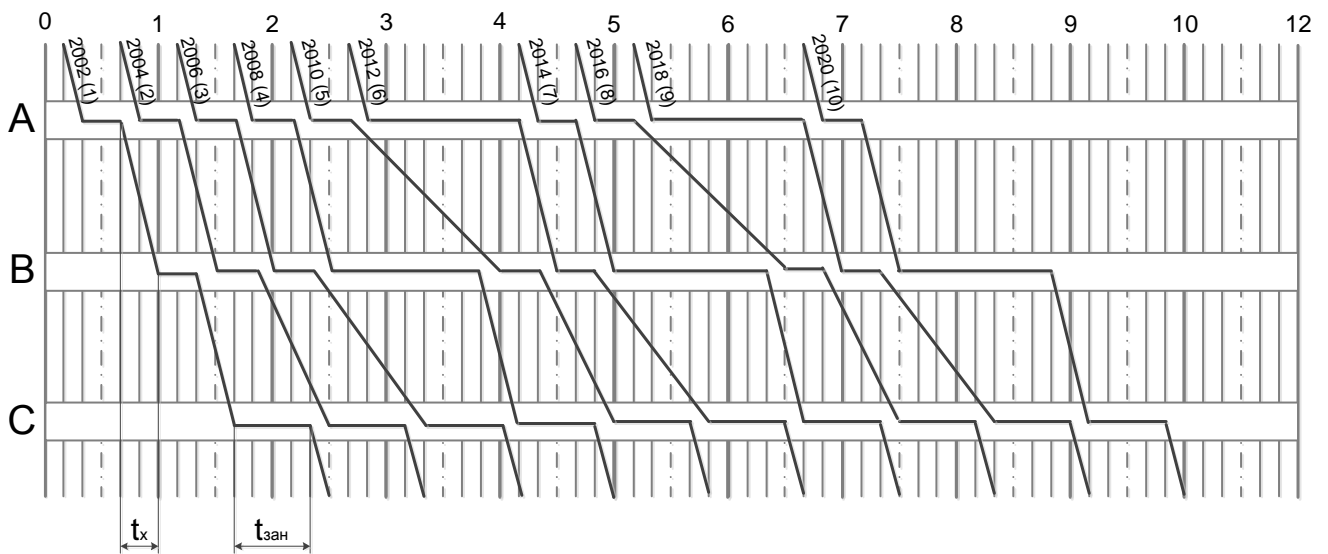


Рисунок 3.11. Условный график движения 10 поездов на участке АС со стоянками поездов на технических станциях А, В, С при увеличении времени занятия пути на станции С в два раза.

На графике исполненного движения хорошо видно, что увеличение простоя поездов на технической станции С привело к задержкам поездов в первую очередь на участке ВС, время хода поезда № 2004 увеличилось на 20 мин., следующего № 2006 уже на 40 мин. и превысило нормативное время хода в три раза. Для исправления ситуации на участке ВС поезд № 2008 был задержан на станции В на 60 минут, что привело к задержке поезда № 2010 на участке АВ с увеличением времени хода в четыре раза. Для выравнивания движения уже на участке АС было ограничено отправление поездов со станции А, что привело к задержке поезда № 2012 на станции А, стоянка данного поезда составила 80 минут (на 60 минут больше норматива). При проследовании линии АС десяти поездов на участке ВС было задержано 6 поездов от 20 до 40 минут, на станции В простояло свыше норматива три поезда (80 минут), на участке АВ задержано 2 поезда на 60 минут каждый, со станции А ограничено отправление двух поездов (задержки составили по 60 минут). Для оценки полученных изменений по сравнению с первым вариантом рассчитаем аналогичные качественные показатели.

Участковая скорость для участка АВ $v_{\text{уч}}^{\text{AB}} = 37,5$ км/ч, для участка ВС $v_{\text{уч}}^{\text{BC}} = 31,6$ км/ч, в целом для линии АС $v_{\text{уч}}^{\text{AC}} = 34,3$ км/ч.

Средний простой на технической станции С, согласно условий $t_{\text{ср}}^{\text{C}} = 40$ мин или 0,67 часа, средний простой на технической станции В $t_{\text{ср}}^{\text{B}} = 38$ мин или 0,63 часа, средний простой на технической станции А $t_{\text{ср}}^{\text{A}} = 32$ мин или 0,53 часа. Средний простой на трех технических станциях $t_{\text{ср}}^{\text{ABC}}$ равен 37 мин или 0,62 часа.

Маршрутная скорость линии АС $v_{\text{мар}}$ равна 13,3 км/ч или 320 км/сут. Общие поездочасы увеличились до 30 поездочасов, при этом потери составили 13,3 поездочаса.

Во втором варианте время, затраченное на проследование 10 поездов по линии АС в графике, составило уже почти 7 часов. Интервал отправления со станции А $I_{\text{A}}^{\text{ср}}$ вырос до 50 минут. Для наглядности сравнения вариантов рассмотренные показатели сведем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Изменение качественных показателей условной линии АС

в зависимости от $t_{\text{зан}}^C$

показатели	$v_{\text{уч}}^{AB}$ км/ч	$v_{\text{уч}}^{BC}$ км/ч	$v_{\text{уч}}^{AC}$ км/ч	$t_{\text{ср}}^A$ ч.	$t_{\text{ср}}^B$ ч.	$t_{\text{ср}}^C$ ч.	$t_{\text{ср}}^{ABC}$ ч.	$v_{\text{мар}}$ км/сут	T ч.	$T_{\text{пот}}$ ч.	$I_A^{\text{ср}}$ мин.
$t_{\text{зан}}^C =$ 20 мин.	60	60	60	0,33	0,33	0,33	0,33	576	16,7	0	30
$t_{\text{зан}}^C =$ 40 мин.	37,5	31,6	34,3	0,53	0,63	0,67	0,62	320	30	13,3	50
+/-	-22,5	-28,4	-25,7	+0,2	+0,3	+0,34	+0,29	-256	+13,3	+13,3	+20

Из-за увеличения простоя на станции С наибольшие потери произошли на участке ВС и станции В, которые являются смежными со станцией С, участковая скорость упала на 28 км/ч, простой на технической станции С увеличился на 0,3 часа. Участок АС и станция А так же ухудшили свои показатели, но падение скорости и увеличение простоя оценивается несколько меньшими величинами – соответственно, на 22,5 км/ч и на 0,2 часа. В целом маршрутная скорость поездов уменьшилась на 256 км/сут и общие поездочасы линии АС увеличились в 1,8 раза за счет потерь поездочасов, которые составили 13,3 поездочаса. Средний межпоездной интервал прибытия поездов на станцию А увеличился до 50 минут, что привело к увеличению затраченного времени на пропуск 10 поездов в графике на два часа.

Исходя из построенных графиков условной железнодорожной линии и произведенных расчетов основных показателей, характеризующих стабильность движения поездопотока, можно сделать выводы, что ограничения на одном элементе линии сказываются на работе других элементов (поездоучастков и технических станций). При этом наибольшее влияние получают смежные с проблемным элементом участки и станции. По мере удаления от ограничивающей станции или участка влияние уменьшается, это выражается в меньших потерях участковой скорости и простое поездов на станциях. С практической точки зрения диспетчерский аппарат должен предвидеть возникающие затруднения и по возможности не допускать концентрации поездопотока на одном, двух

поездучастках, ограничивая движение в проблемную зону и распределяя поезда на большем количестве диспетчерских участков до решения проблем на ограничивающем элементе железнодорожной линии.

На основании проведенных исследований и расчетов рассмотрим влияние технической станции Карымская на работу технических станций направления Хилок – Могоча. На рисунке 3.12 показано среднесуточное выполнение простоя транзитного вагона без переработки за период с 2009 по 2012 гг. в четном и нечетном направлениях, где хорошо видно, что при приближении к станции Карымская простой растет, а после проследования поездопотока проблемного узла постепенно падает (кроме четного направления на станциях Чернышевск и Могоча, где средний простой составляет порядка 2 ч. и связан в большей степени с существующими инфраструктурными ограничениями на данном направлении).

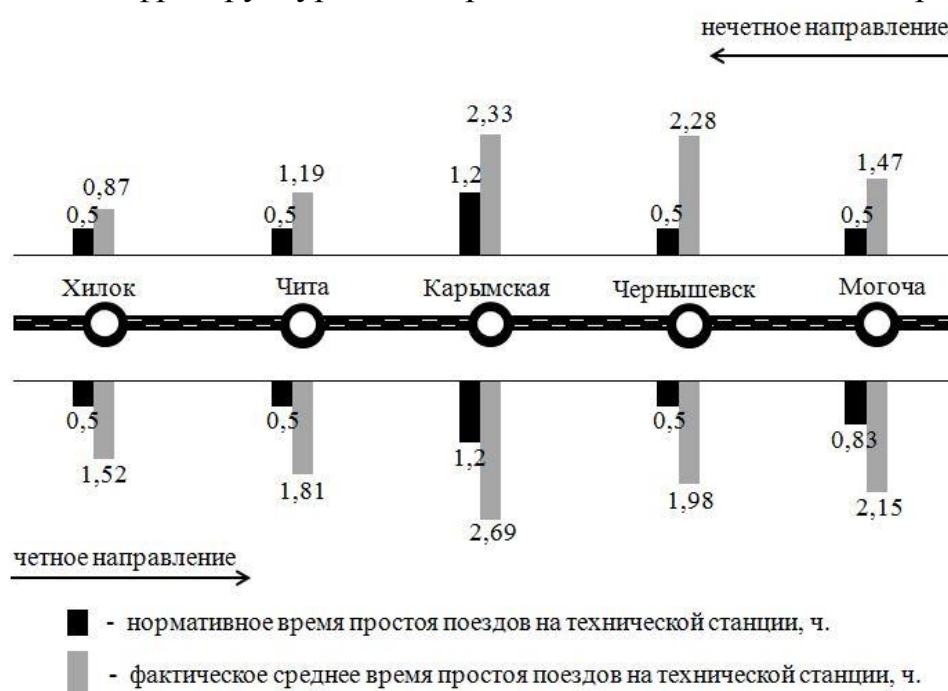


Рисунок 3.12. Средние показатели выполнения простоя грузовых поездов на технических станциях направления Хилок – Могоча в период с 2009 по 2012 гг.

Построим диаграммы рассеивания среднесуточных размеров движения и среднего простоя на технических станциях за каждый месяц периода с 2009 по 2012 гг., соответственно, по направлениям движения к станции Карымская (см. рисунок 3.13) и от станции Карымская (см. рисунок 3.14).

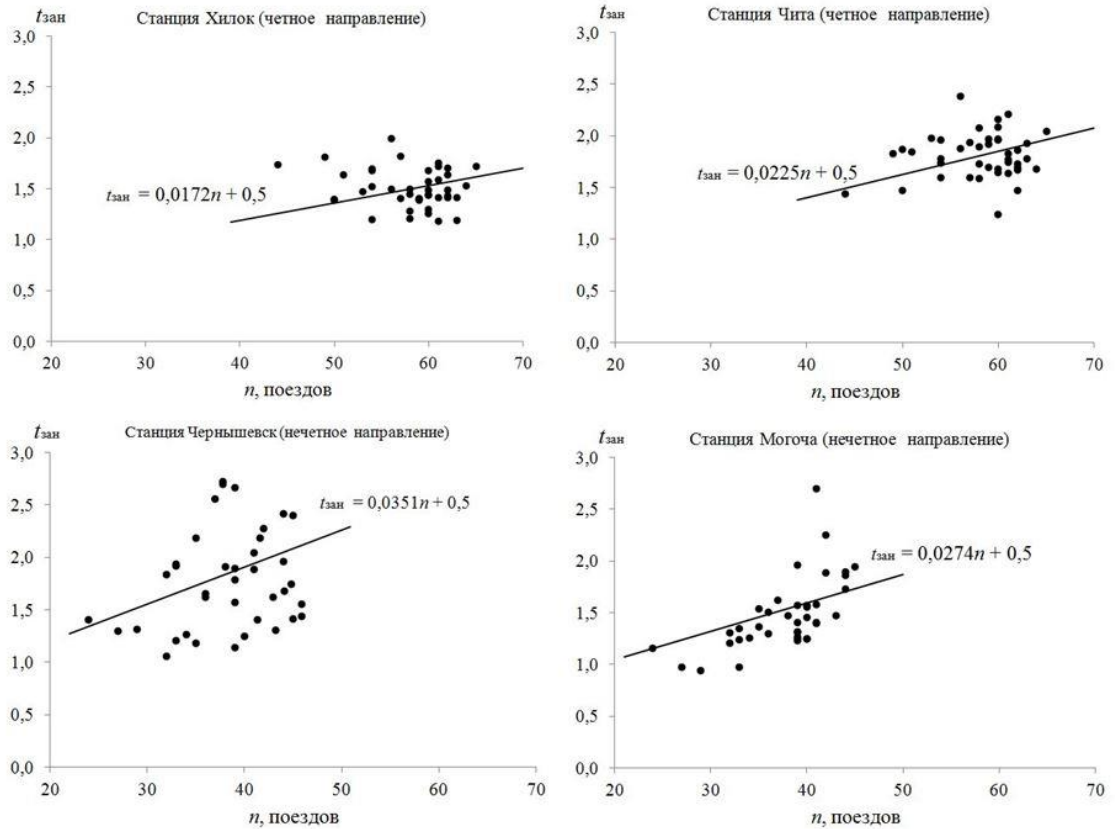


Рисунок 3.13. Диаграмма рассеивания размеров движения и среднего простоя грузовых поездов за каждый месяц периода 2009-2012 гг. на станциях Хилок, Чита, Чернышевск и Могоча при направлении движения к станции Карымская

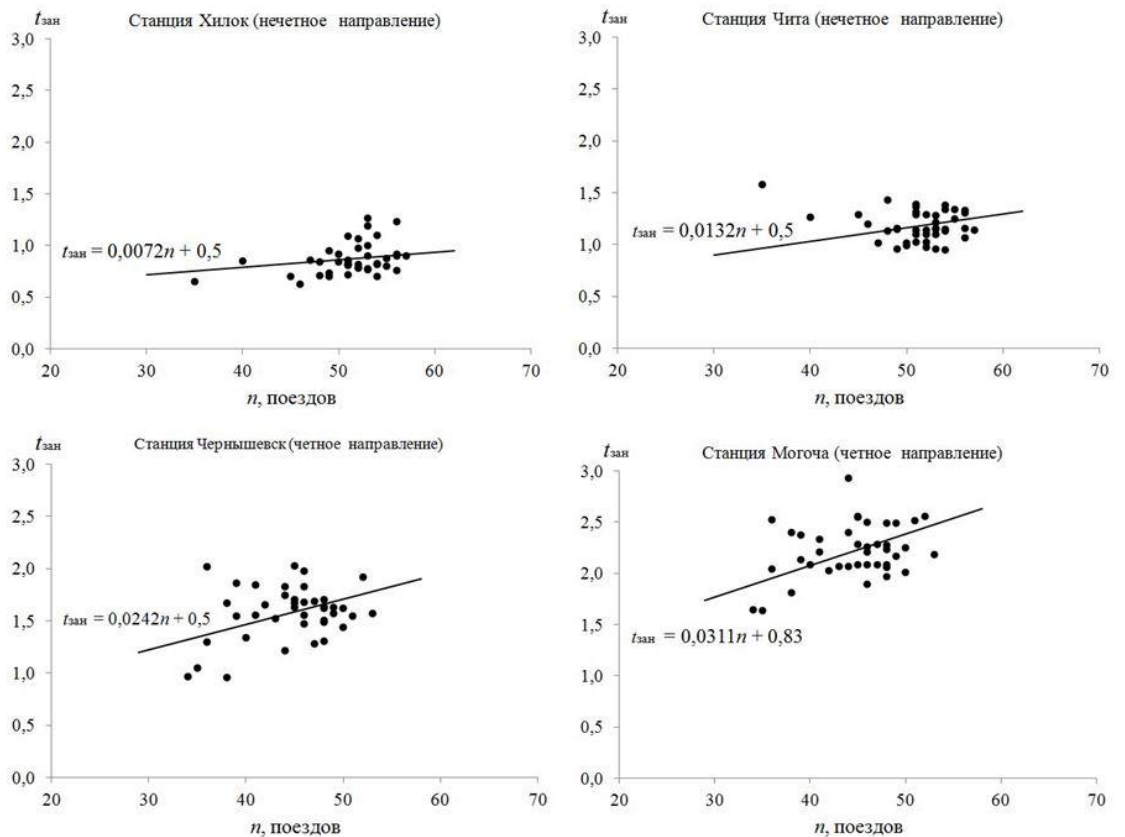


Рисунок 3.14. Диаграмма рассеивания размеров движения и среднего простоя грузовых поездов за каждый месяц периода 2009-2012 гг. на станциях Хилок, Чита, Чернышевск и Могоча при направлении движения от станции Карымская

Проведя аппроксимацию точек распределения с помощью линейных зависимостей среднего простоя поездов (или средней занятости пути) $t_{\text{зан}}$ от размеров движения n следующего вида:

а) при движении к станции Карымская

$$\text{- для станции Хилок } t_{\text{зан}} = 0,0172n + 0,5 \quad (3.22)$$

$$\text{- для станции Чита } t_{\text{зан}} = 0,0225n + 0,5 \quad (3.23)$$

$$\text{- для станции Могоча } t_{\text{зан}} = 0,0274n + 0,5 \quad (3.24)$$

$$\text{- для станции Чернышевск } t_{\text{зан}} = 0,0351n + 0,5 \quad (3.25)$$

б) при движении от станции Карымская

$$\text{- для станции Хилок } t_{\text{зан}} = 0,0072n + 0,5 \quad (3.26)$$

$$\text{- для станции Чита } t_{\text{зан}} = 0,0132n + 0,5 \quad (3.27)$$

$$\text{- для станции Могоча } t_{\text{зан}} = 0,0311n + 0,83 \quad (3.28)$$

$$\text{- для станции Чернышевск } t_{\text{зан}} = 0,0242n + 0,5 \quad (3.29)$$

То есть в общем виде зависимость средней занятости пути $t_{\text{зан}}$ от размеров движения n можно записать в следующем виде:

$$t_{\text{зан}} = t_{\text{техн}} + an, \quad (3.30)$$

где

a – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние на простой поездов на технических станциях различных технологически обоснованных и нетехнологических потерь, ч/поезд.

В рассматриваемых случаях при движении к станции Карымская эмпирический коэффициент $a \in [0,0172; 0,0351]$, при движении от проблемной станции $a \in [0,0072; 0,0311]$, при этом данный коэффициент в среднем в 1,4 раза меньше для направлений от станции Карымская.

Построим в общем виде графики зависимости $t_{\text{зан}}$ от a , n , $t_{\text{техн}}$ и $t_{\text{зан}}$ от m и (см. рисунок 3.15). Следует отметить, что зависимость $t_{\text{зан}} = 24m/n$ показывает с каким максимальным средним временем $t_{\text{зан}}$ должны поезда занимать приемоотправочные пути m для пропуска размеров движения грузовых поездов n .

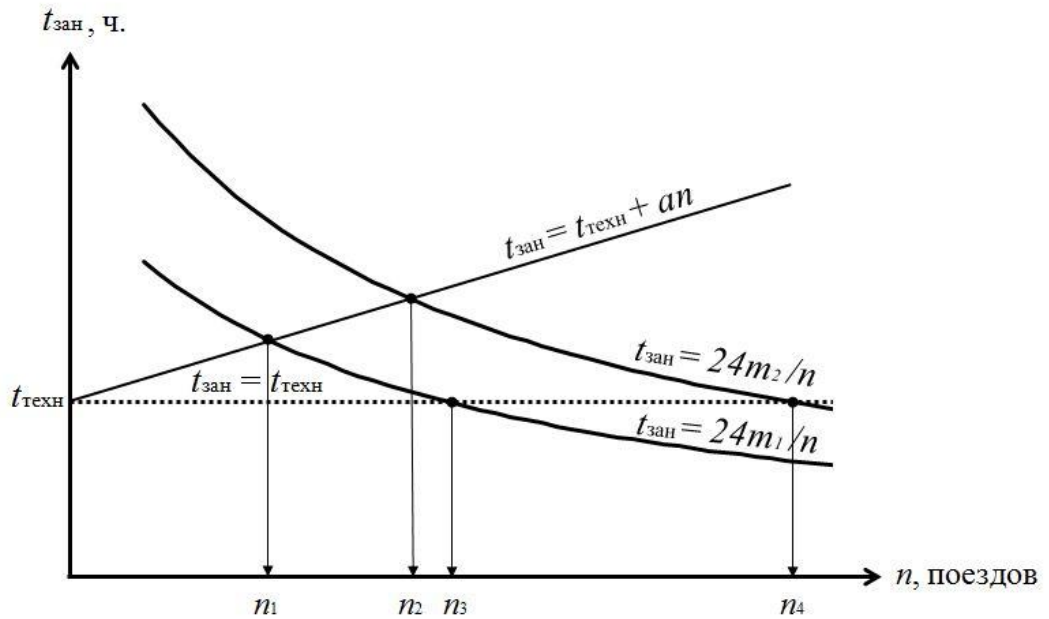


Рисунок 3.15. Графики зависимости времени занятия пути одним поездом от размеров движения n , количества приемоотправочных путей m в общем виде.

В общем виде результирующей пропускной способностью будут точки пересечения кривых $t_{\text{зан}} = t_{\text{техн}} + an$ и $t_{\text{зан}} = 24m/n$, которые на рисунке обозначены как n_1, n_2, n_3, n_4 . То есть

$$N_{\text{ПОП}} = \begin{cases} n_1, & \text{при } a > 0; m_1 \\ n_2, & \text{при } a > 0; m_2 \\ n_3, & \text{при } a = 0; m_1 \\ n_4, & \text{при } a = 0; m_2 \end{cases} \quad (3.31)$$

Очевидно, что в данном случае верно соотношение:

$$t_{\text{техн}} + an = 24m/n \quad (3.32)$$

или
$$an^2 + t_{\text{техн}} \cdot n - 24m = 0 \quad (3.33)$$

Решая данное квадратное уравнение, находим n :

$$n = \frac{-t_{\text{техн}} + \sqrt{t_{\text{техн}}^2 + 96am}}{2a} \quad (3.34)$$

Соответственно, подставив выражение (3.34) в формулу (3,2), принимая, что $\Sigma T_{\text{пост}} = 0$ (в реальных условиях эксплуатации $\Sigma T_{\text{пост}}$ не имеет решающего значения, так как данное время связано с необходимостью содержания станционной инфраструктуры и подвязывается под график предоставления технологических «окон» на перегонах), переведя для упрощения расчетов минуты в часы, находим, что пропускная способность технической станции определяется отношением:

$$N_{\text{ПОП}} = \frac{48m}{t_{\text{ТЕХН}} + \sqrt{t_{\text{ТЕХН}}^2 + 96am}} \quad (3.35)$$

Проведем для примера расчеты пропускной способности станции при следующих параметрах $t_{\text{ТЕХН}} = 0,67$ ч.; $m = 3, 5, 7$; $a = 0,015$:

$$\text{при } m = 3 \quad N_{\text{ПОП}} = \frac{48 \cdot 3}{0,67 + \sqrt{0,67^2 + 96 \cdot 0,015 \cdot 3}} = 50 \text{ поездов;}$$

$$\text{при } m = 5 \quad N_{\text{ПОП}} = \frac{48 \cdot 5}{0,67 + \sqrt{0,67^2 + 96 \cdot 0,015 \cdot 5}} = 70 \text{ поездов;}$$

$$\text{при } m = 7 \quad N_{\text{ПОП}} = \frac{48 \cdot 7}{0,67 + \sqrt{0,67^2 + 96 \cdot 0,015 \cdot 7}} = 86 \text{ поездов.}$$

Проведем расчеты $N_{\text{ПОП}}$ при $t_{\text{ТЕХН}} = 0,67$ ч., $m \in [1; 15]$, $a = 0,005, 0,015, 0,025, 0,035, 0,045$ и полученные данные сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Изменение пропускной способности технических станций $N_{\text{ПОП}}$ в зависимости от параметров m и a

m , путей	$t_{\text{ТЕХН}}$ ч.	$N_{\text{ПОП}}$, поезд.				
		$a = 0,005$	$a = 0,015$	$a = 0,025$	$a = 0,035$	$a = 0,045$
1	0,67	29	23	20	18	17
2	0,67	52	38	32	29	26
3	0,67	70	50	42	37	33
4	0,67	87	61	50	44	39
5	0,67	102	70	57	50	45
6	0,67	115	78	64	55	50
7	0,67	128	86	70	60	54
8	0,67	140	93	75	65	58
9	0,67	151	100	81	70	62
10	0,67	162	106	85	74	66
11	0,67	172	112	90	78	70
12	0,67	182	118	95	82	73
13	0,67	192	124	99	85	76
14	0,67	201	129	103	89	79
15	0,67	210	134	107	92	82

На основании полученных результатов построим номограмму расчета пропускной способности технической станции, в данном случае - участковой станции с технологией работы по смене локомотивных бригад, в зависимости от количества приемоотправочных путей m и эмпирического коэффициента a (см. рисунок 3.16). В реальных условиях эксплуатации двухпутных линий, оборудованных автоблокировкой, ограничения со стороны технических станций возникают при размерах движения от 60 до 90 пар поездов, поэтому с учетом проведенного исследования значения пропускной способности парков технических станций будут равны:

$$N_{\text{ПОП}} \in [70; 90], \text{ при } \begin{cases} a = 0,005; m \in [3; 5]; \\ a = 0,015; m \in [4; 8]; \\ a = 0,025; m \in [6; 11]; \\ a = 0,035; m \in [7; 15]; \\ a = 0,045; m \in [11; 17]. \end{cases}$$

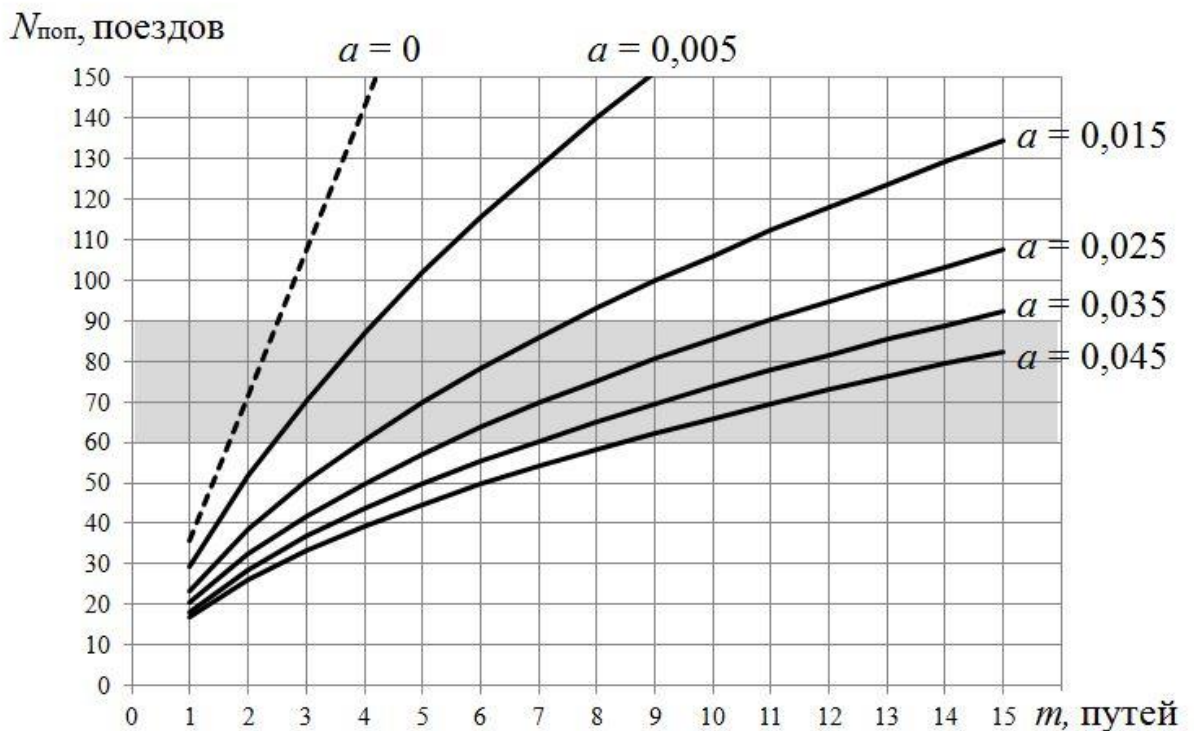


Рисунок 3.16. Номограмма расчета пропускной способности технической станции (участковой станции с технологией работы по смене локомотивных бригад) в зависимости от количества приемоотправочных путей m и эмпирического коэффициента a .

То есть, например, для пропуска 70 поездов при уровне потерь в стоянке поезда, определенных эмпирическим коэффициентом со значением 0,005,

потребуется 3 приемоотправочных пути, а при уровне потерь с коэффициентом, равным 0,0045, уже 11 путей. Если данное условие по путевому развитию не будет соблюдаться, то техническая станция будет лимитирующим элементом железнодорожного направления, поезда будут задерживаться на подходах к станции, участковая скорость будет уменьшаться, подчиняясь зависимости (3.14).

Выводы по главе 3

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1) разработана динамическая математическая модель, в которой связано число приемоотправочных путей m в парках технических станций, время занятости путей под обработку транзитных грузовых поездов $t_{зан}$, межпоездные интервалы попутного следования поездов I_A в поездопотоках;

2) модель позволяет уменьшить поездочасы ожидания и увеличить участковую скорость при пропуске поездопотоков за счет оптимизации соотношений времени занятости приемоотправочных путей $t_{зан}$, числа таких путей m , величин межпоездных интервалов I_A ;

3) динамическая модель позволяет объяснить причины увеличения времени занятости путей в четном парке станции Карымская при увеличении числа приемоотправочных путей;

4) статистическим анализом установлено, что направлением увеличения пропускной способности четных парков ст. Карымская в настоящее время является последовательная реализация мероприятий по обеспечению ежесуточного резерва локомотивов, обслуживающих Восточный полигон, на ст. Карымская в размере 8-10 локомотивов и соответствующий прием четного потока с соседней дороги в размерах, определяемых изменившейся после создания резерва локомотивов реальной наличной пропускной способностью станции Карымская;

5) установлено, что лимитирующими элементами в пропускной способности основного направления Забайкальской железной дороги являются

технические станции. При этом станция с наименьшей пропускной способностью будет существенно влиять на работу, как смежных, так и более отдаленных поездоучастков и входящих в них технических станций;

б) определен эмпирический коэффициент a , который позволяет учитывать наличие технологически обоснованных потерь (ожидание нитки графика из-за пропуска пассажирских поездов или нитки вариантного графика при предоставлении «окон» на ремонт и содержание инфраструктуры на прилегающих участках) и нетехнологических потерь (ожидание локомотивов, локомотивных бригад, размена локомотивов из-за их неисправностей, сбоев в графике движения из-за отказов технических средств и т.д.) в среднем времени занятия пути поездом $t_{зан}$.

ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ПУНКТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ НА РАБОТУ СТАНЦИИ СМЕНЫ ЛОКОМОТИВОВ

После выделения основных факторов влияния на стабильный пропуск грузовых поездов в § 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.3 показано, что величина ожидания локомотива на станции Карымская в простое поездов весьма значительна, с учетом этого в диссертации более подробно проанализирована работа станции Карымская. Эта станция является односторонней сортировочной станцией первого класса с комбинированным расположением парков. При этом основная ее работа связана с пропуском транзитных поездов. Так по итогам 2012 г. доля вагонов, проследовавших станцию без переработки, составила 86%.

Путевое развитие станции (см. рисунок 4.1) включает в себя четные приемоотправочные парки Б и Д, нечетный приемоотправочный парк А, приемоотправочный парк В для обоих направлений и сортировочно-отправочный парк С. Парки А, Б, С и В расположены параллельно друг другу, парк Д – последовательно, примыкает с западной стороны к остальным паркам. В технологическом процессе станции предполагается возможность изменения специализации путей парков в зависимости от развития поездной ситуации.

Парк А состоит из шести приемоотправочных путей условной длиной от 71 до 86 вагонов. Кроме приема, отправления и пропуска грузовых поездов парк специализирован для пассажирских и пригородных поездов.

Парк Б состоит из шести приемоотправочных путей условной длиной от 73 до 79 вагонов.

Парк В состоит из шести приемоотправочных путей условной длиной от 52 до 67 вагонов, специализирован в основном для приема поездов, прибывающих в расформирование.

Парк Д состоит из десяти приемоотправочных путей условной длиной от 98 до 105 вагонов.

Парк С состоит из сортировочных путей вместимостью от 36 до 63 условных вагона, в связи с этим нет жесткой специализации путей для накопления вагонов согласно плана формирования, специализация путей является скользящей. С западной стороны парка расположена механизированная сортировочная горка малой мощности. Паспортная перерабатывающая способность составляет 1500 вагонов в сутки.

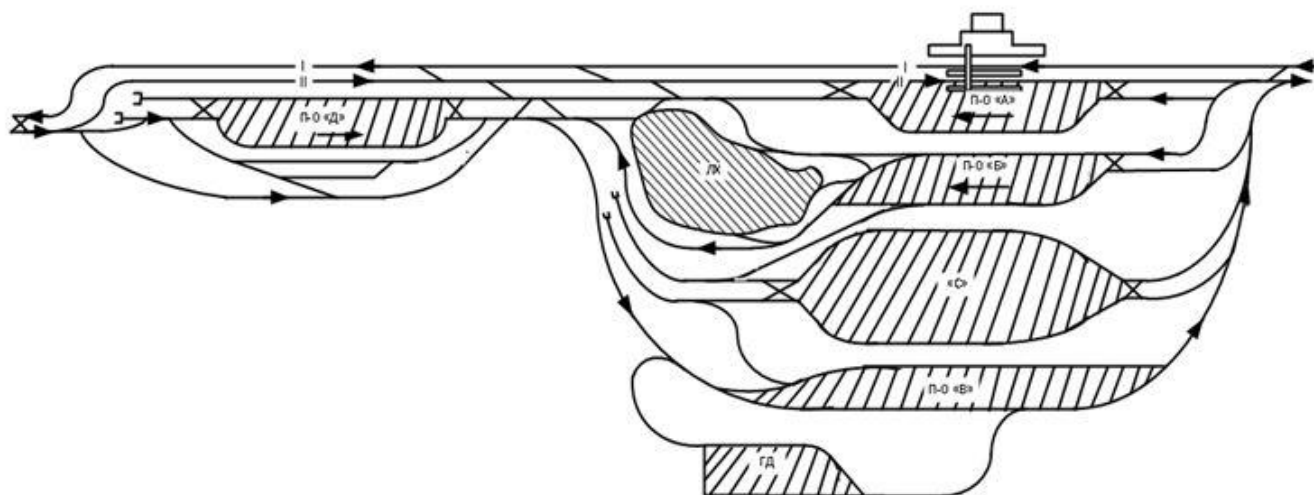


Рисунок 4.1. Схема расположения парков станции Карымская.
 На схеме: П-О «А» – приемоотправочный парк А, П-О «Б» – приемоотправочный парк Б,
 П-О «В» – приемоотправочный парк В, П-О «Д» – приемоотправочный парк Д,
 «С» – сортировочный парк С, «ГД» – грузовой двор, «ЛХ» – территория
 Пункта технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ).

Локомотивное хозяйство состоит из Пункта технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ-61) и эксплуатационного локомотивного депо Карымская. ПТОЛ состоит из трех корпусов (1 корпус – 3 канавы по одному стойлу или 3 стойла, 2 корпус – 3 канавы по одному стойлу или 3 стойла и 3 корпус – 2 канавы по 2 стойла или 4 стойла): первый предназначен для локомотивов серии ВЛ80Р, ВЛ85 тягового плеча Мариинск – Карымская, третий для локомотивов серии ВЛ80С, ЗЭС5К тягового плеча Карымская – Хабаровск, второй корпус для устранения внеплановых неисправностей, ТО-2 маневровым и хозяйственным тепловозам. Время, установленное на проведение ТО-2 1,5 часа на один локомотив, из которых 1 час тратится на занятие стойла для проведения основных цикловых работ.

Станция Карымская замыкает следующие плечи локомотивных бригад: с запада Хилок – Карымская и Чита – Карымская, с востока Чернышевск – Карымская, Шилка – Карымская, а также плечи с южного направления дороги (Карымская – Борзя, Карымская – Оловянная).

Обратимся к потребной и существующей пропускной способности корпусов ПТОЛ. Пропускная способность ПТОЛ $M_{ПТОЛ}$ зависит от количества ремонтных стойл $m_{ст}$ и времени занятия ремонтного стойла $t_{зан ст}$ при проведении технологических операций в объеме ТО-2. Это соотношение имеет следующий вид:

$$M_{ПТОЛ} = \frac{1440 \cdot m_{ст}}{t_{зан ст}}, \quad (4.1)$$

где

$m_{ст}$ – количество ремонтных стойл на ПТОЛ;

$t_{зан ст}$ – время занятия локомотивом стойла при проведении технического обслуживания, мин.

Проведем расчеты для ПТОЛ станции Карымская:

для первого корпуса $M_{ПТОЛ} = \frac{1440 \cdot 3}{60} = 72$ локомотива;

для третьего корпуса $M_{ПТОЛ} = \frac{1440 \cdot 4}{60} = 96$ локомотивов;

для второго корпуса расчеты не проводим, так как его специализация предназначена для проведения внеплановых ремонтов грузовым электровозам.

Расчеты показывают, что пропускная способность основных корпусов ПТОЛ составляет 72 электровоза в первом корпусе и 96 в третьем и обеспечивает размен и проведение ТО-2 локомотивам при существующих среднесуточных размерах движения грузовых поездов (60-65 грузовых поездов), при этом резервы в пропускной способности в первом корпусе порядка 10-17%, в третьем, соответственно, 25-38%. В соответствии с этими оценками техническое оснащение ПТОЛ и установленная технология по проведению ТО-2 не должны лимитировать продвижение грузовых поездов через станцию.

Рассмотрим реальные параметры работы локомотива в узле путем анализа одного элемента времени его оборота от прохода контрольного поста до захода в

корпус для проведения ТО-2 («от КП до ТО-2»). На рисунке 4.2 показана диаграмма распределения данного показателя в процентном соотношении по итогам 2012 г. по всем сериям электровозов.

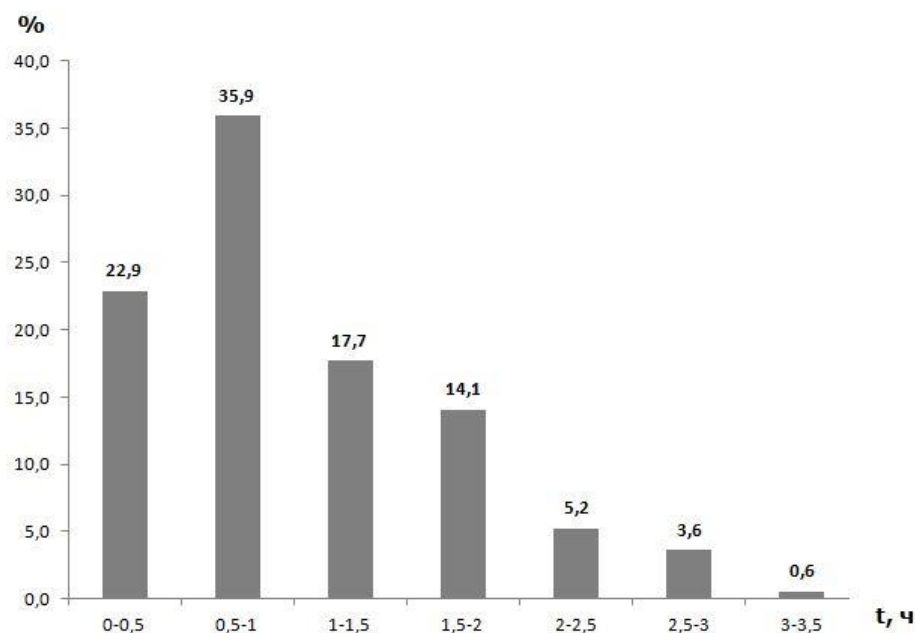


Рисунок 4.2. Распределение времени простоя локомотивов от КП до ТО-2 на станции Карымская по итогам 2012 г.

Согласно статистики от 0 до 30 минут в ожидании освобождения стойла простояло 22,9% электровозов, от 30 минут до 1 часа – 35,9% электровозов, от 1 до 1,5 часов – 17,7%, от 1,5 до 2 часов – 14,1%, от 2 до 2,5 часов – 5,2%, от 2,5 до 3 часов – 3,6% и от 3 до 3,5 часов – 0,6%. То есть 77,1% электровозов всех серий более 30 минут ожидали постановки на стойло для проведения ТО-2, у 41,2% локомотивов задержка была более часа. Средний простой электровозов в рассматриваемый период по элементу «от КП до ТО-2» составил 1 час. Это требует анализа и соответствующих объяснений.

Обратимся к путевому развитию станции Карымская. Проведенная реконструкция станции в период 2009 по 2011 гг. позволяет принимать за один час с 10-минутным интервалом 6 чётных и 6 нечётных поездов, то есть в узел за один час может поступить 12 локомотивов без учета электровозов, прибывающих в сплотках локомотивов. Соответствующее соотношение для количества прибывающих локомотивов имеет следующий вид:

$$M_{np} = \sum_{i=1}^k \frac{60}{I_{npi}}, \quad (4.2)$$

где

k – количество направлений, примыкающих к станции (узлу);

I_{npi} – интервал прибытия поездов с i -го направления, мин.

ПТОЛ может пропустить за час при существующем путевом развитии, принятых технологиях и штате по техническому обслуживанию следующее количество локомотивов:

$$M_{ПТОЛ(ч)} = M_{ПТОЛ}/24 = \left(\frac{1440 \cdot m_{ст}}{t_{зан ст}} \right) / 24 = \frac{60 \cdot m_{ст}}{t_{зан ст}} \quad (4.3)$$

Оценка для ПТОЛ станции Карымская для локомотивов всех серий составляет:

$$M_{ПТОЛ(ч)} = \frac{60 \cdot 7}{60} = 7 \text{ локомотивов.}$$

То есть при наличии свободных путей за один час в узел может поступить 12 (и более) локомотивов, из них только 7 переработают корпуса ПТОЛ, а 5 будут стоять в ожидании освобождения стойл, увеличивая элемент оборота локомотива «от КП до ТО-2».

Для оценки влияния технического и технологического вооружения ПТОЛ на стабильность пропуска поездов построим условный график работы технической станции (см. рисунок 4.3). Примем, что на станции для каждого направления есть по три пути, на пункте технического обслуживания по одному стойлу с нормативным временем оборота локомотива 50 минут, из них 30 минут для проведения ТО-2 на ПТОЛ. Размеры движения 3 поезда в час или 72 поезда за сутки, принятая технологическая стоянка 50 минут (время занятия пути с учетом приема и отправления поездов 60 минут).

Пропускная способность условного пункта технического осмотра локомотивов (ПТОЛ) составляет:

$$M_{ПТОЛ} = \frac{1440 \cdot 1}{30} = 48 \text{ локомотивов.}$$

Пропускная способность составляет:

$$N_{ПТОЛ} = \frac{1440 \cdot 3}{60} = 72 \text{ поезда.}$$

Оборот локомотива на станции смены локомотивов состоит из следующих основных элементов:

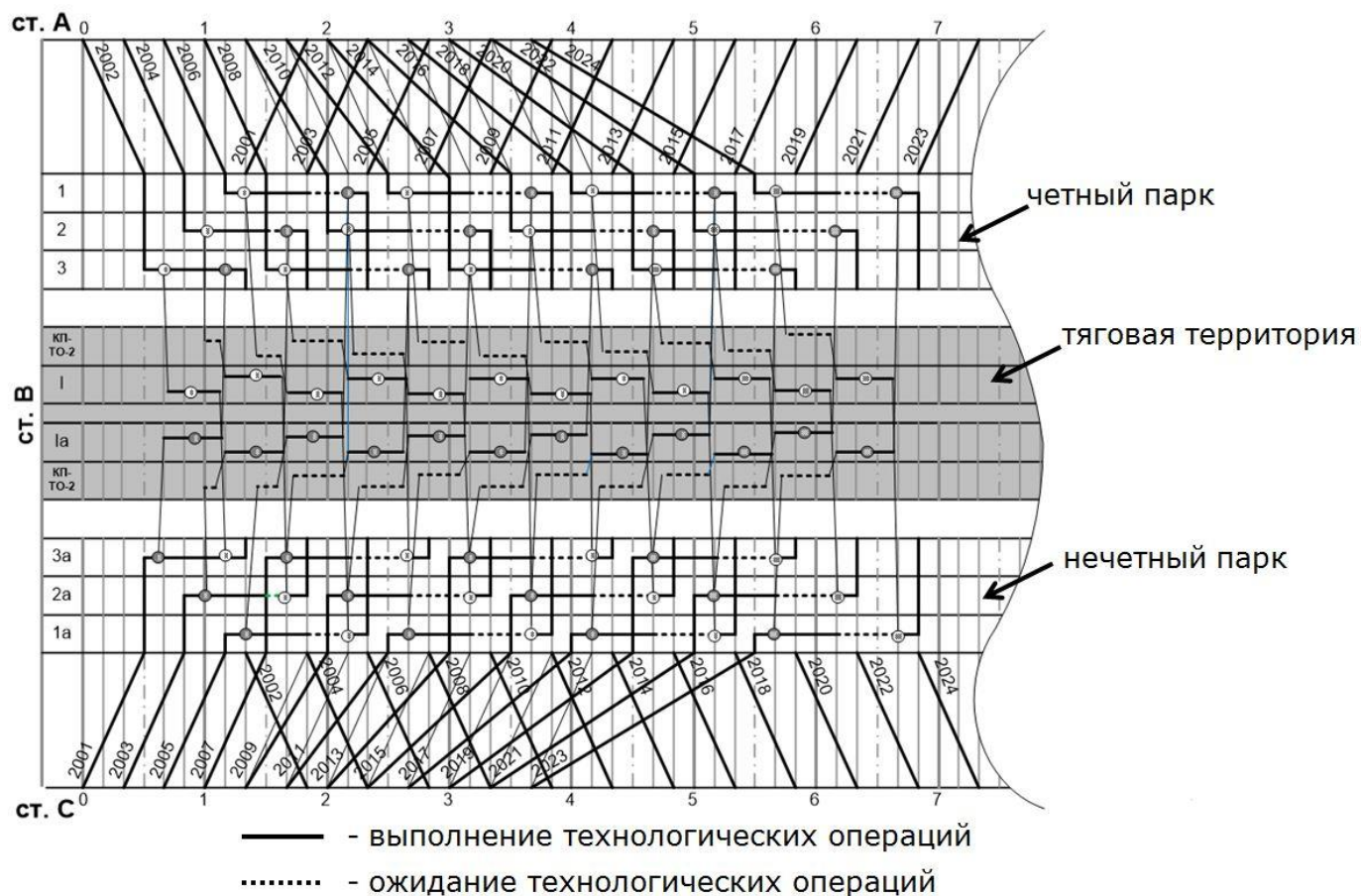


Рисунок 4.3. Условный график работы технической станции (серый фон – тяговая территория ПТОЛ, ⊕ ⊙ - номера локомотивов, штриховая линия – непроизводительные потери в стоянке поезда и обороте локомотива)

- время от прибытия с поездом до захода на тяговую территорию (прохождения контрольного поста) «от приб. до КП», ч.;
- время от прохождения контрольного поста до захода в корпус ПТОЛ на стойло ТО-2 «от КП до ТО-2», ч.;
- время на проведение цикловых работ «ТО-2», ч.;
- время от окончания ТО-2 до прохождения контрольного поста (выхода с тяговой территории) «от ТО-2 до КП», ч.;
- время от прохождения контрольного поста до отправления локомотива с поездом «от КП до отпр.», ч.

Данные элементы нормируются в зависимости от технического развития станций, ПТОЛ и технологических нормативов на проведение операций с поездами и локомотивами.

В рамках условной станции для наглядности и упрощения расчетов количественных оценок примем оборот локомотива, состоящим из трех элементов:

- времени от прибытия с поездом до захода на ПТОЛ «от приб. до ТО-2», мин;
- времени на проведение цикловых работ ТО-2 «ТО-2», мин.;
- времени от окончания ТО-2 до отправления локомотива с поездом «от ТО-2 до отпр.», мин.

Оборот локомотива условной станции определяется следующим соотношением:

$$T_{\text{об}} = T_{\text{приб до ТО-2}} + T_{\text{ТО-2}} + T_{\text{ТО-2 до отпр}} \quad (4.4)$$

В нашем случае время «от приб. до ТО-2» $T_{\text{приб до ТО-2}}$ равно 10 мин., время «ТО-2» $T_{\text{ТО-2}}$ равно 30 мин., время «от ТО-2 до отпр.» $T_{\text{ТО-2 до отпр}}$ равно 10 мин. Рассмотрим одно направление. При прибытии первого поезда № 2002 на станцию локомотив отцепляется и заходит в корпус ПТОЛ, проходит ТО-2, подводится под поезд № 2001 и отправляется со станции без задержек. Оборот локомотива № 1 составил 50 минут стоянка поезда № 2001 также 50 минут. Следующий поезд № 2004 без задержек прибывает на путь № 2, локомотив № 2 отцепляется от поезда, заходит на тяговую территорию, стоит 10 минут в ожидании ТО-2, проходит ТО-2, подводится под поезд № 2003, который был задержан на 10 минут в ожидании локомотива, его стоянка составила 60 минут. Задержка локомотива № 3 из-за ожидания освобождения ремонтного стойла составила 20 минут с задержкой поезда № 2005 на 20 минут. Все следующие локомотивы и поезда задержаны по данной причине на 30 минут. Начиная с поездов № 2009 и 2010, допускается ожидание поездами приема на станцию из-за занятости приемоотправочных путей. Оборот локомотива увеличивается до 90 минут, время занятия пути с учетом времени приема и отправления поезда – до 90 минут.

То есть оборот локомотива на условной станции увеличивается и выглядит следующим образом:

$$T_{об} = T_{приб\ до\ ГО-2} + T_{ГО-2} + T_{ГО-2\ до\ отпр} + T_{доп}, \quad (4.5)$$

где

$T_{доп}$ – время, связанное с нетехнологическими потерями (ожиданием технологических операций), мин.

Полученные временные параметры исполненного условного графика работы станции смены локомотивов сводим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Параметры показателей условной станции смены локомотива

№ поезда	$t_{доп}$ мин.	$t_{зан}$ мин.	№ ЛОК.	$T_{доп}$ мин.	$T_{об}$ мин.	№ поезда	$t_{доп}$ мин.	$t_{зан}$ мин.	№ ЛОК.	$T_{доп}$ мин.	$T_{об}$ мин.
четное направление						нечетное направление					
2002	0	60	1	0	50	2001	0	60	1	0	50
2004	10	70	2	10	60	2003	10	70	2	10	60
2006	20	80	3	20	70	2005	20	80	3	20	70
2008	30	90	4	30	80	2007	30	90	4	30	80
2010	30	90	5	30	80	2009	30	90	5	30	80
2012	30	90	6	30	80	2011	30	90	6	30	80
2014	30	90	7	30	80	2013	30	90	7	30	80
2016	30	90	8	30	80	2015	30	90	8	30	80
2018	30	90	9	30	80	2017	30	90	9	30	80
2020	30	90	10	30	80	2019	30	90	10	30	80
2022	30	90	11	30	80	2021	30	90	11	30	80
2024	30	90	12	30	80	2023	30	90	12	30	80
Средние знач.	25	85		25	75	Средние знач.	25	85		25	75

График на рисунке 4.3 показывает, что пропускная способность станции по путевому развитию и принятая технология обеспечивает пропуск заданных 72 поездов. При этом существующее ограничение в пропускной способности ПТОЛ приводит к росту непроизводительных потерь (штриховая линия) на станции, как

в обороте локомотива, так и в стоянке поезда. Пропускная способность станции из-за увеличения времени занятости приемоотправочных путей уменьшается и составляет:

$$N_{\text{ПОП}} = \frac{1440 \cdot 3}{90} = 48 \text{ поездов.}$$

Интервал прибытия поездов на станцию $I_{\text{пр}}$ увеличивается до 30 минут. Используя соотношения (4.2, 4.3), получим:

$$I_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{зан ст}}}{m_{\text{ст}}} \quad (4.6)$$

Данное соотношение показывает какой минимальный межпоездной интервал приема на станцию смены локомотивов будет при существующей технико-технологической оснащённости ПТОЛ. Для наглядности построим номограмму расчета среднего интервала прибытия поездов на станцию смены локомотивов в зависимости от количества стойл ПТОЛ и времени на проведение цикловых работ ТО-2, требующих занятия стойла (см. рисунок 4.4). в нашем случае примем время занятия стойла $t_{\text{зан ст}}$, равное соответственно 30, 60 и 90 минут.

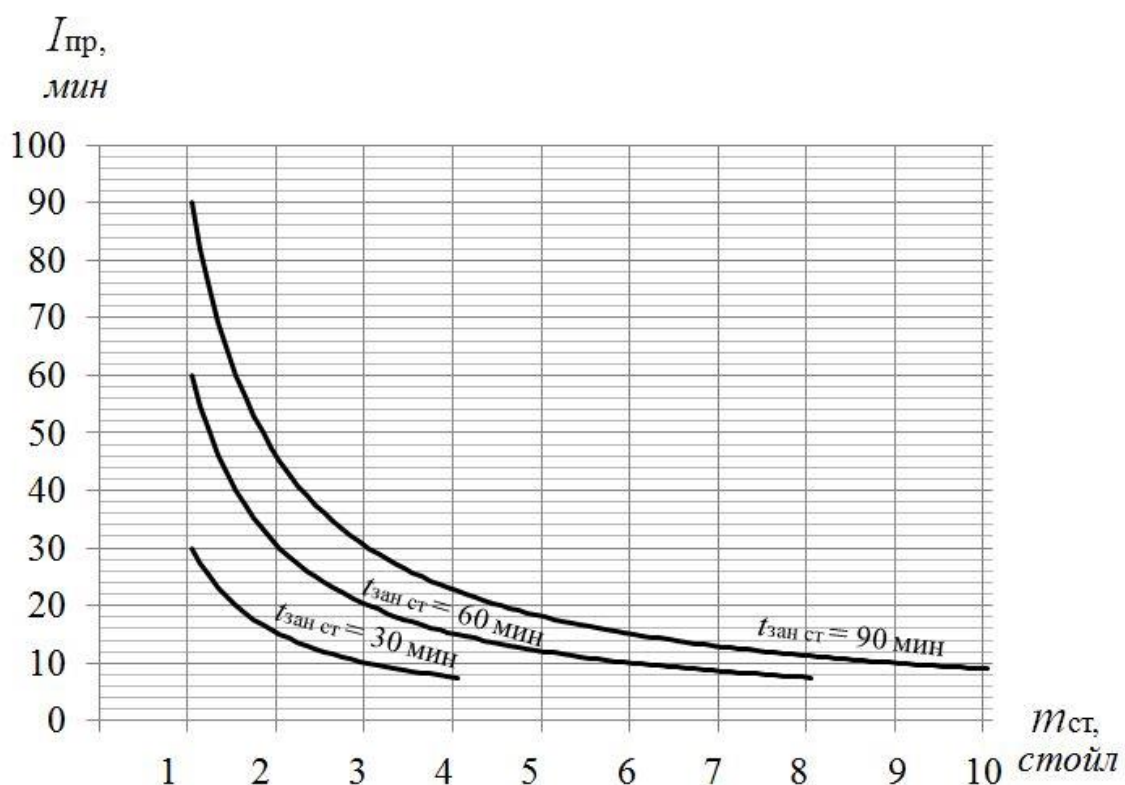


Рисунок 4.4. Номограмма определения среднего интервала прибытия поездов на станцию смены локомотивов в зависимости от количества стойл ПТОЛ и времени на проведение цикловых работ ТО-2 (занятия стойла).

Проведем расчеты для станции Карымская. Для локомотивов восточного участка (Карымская – Хабаровск), которые подвязываются под четные поезда, интервал прибытия четных поездов составит:

$$I_{\text{пр}} = \frac{60}{4} = 15 \text{ минут};$$

Для локомотивов западного участка (Мариинск - Карымская), которые подвязываются под нечетные поезда, интервал прибытия нечетных поездов составит:

$$I_{\text{пр}} = \frac{60}{3} = 20 \text{ минут};$$

Расчеты показывают, что дисбаланс в путевом развитии станции смены локомотивов и технико-технологическом оснащении приводит к нестабильному пропуску поездов через станцию. Поэтому для исключения потерь в стоянке поездов на станции и задержек на подходах к станции из-за простоя локомотивов в ожидании освобождения стоек необходимо увеличивать количество стоек или сокращать нормативное время на проведение цикловых операций технического обслуживания локомотивов за счет увеличения штата ПТОЛ.

Количество стоек, необходимых для стабильного пропуска локомотивов, а, соответственно, и поездов через станцию определяется следующей зависимостью:

$$m_{\text{ст}} = \sum_{i=1}^k \frac{t_{\text{зан ст}}}{I_{\text{пр}i}} \quad (4.7)$$

Что касается станции Карымская в настоящий момент на уровне центрального аппарата компании принято решение о строительстве дополнительного корпуса ПТОЛ, который позволит снизить существующие потери в обороте локомотива на станции, а также освоить перспективные объемы перевозок.

Выводы по главе 4

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- 1) на работу станции Карымская и прилегающих участков существенно

влияет технико-технологическое оснащение пунктов технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ);

2) полученные функциональные зависимости между количеством стойл ПТОЛ, временем занятия стойла локомотивом и минимальным интервалом прибытия поездов на станцию позволяют варьировать параметрами технического оснащения и технологией работы ПТОЛ. На этой основе можно выбирать рациональные интервалы прибытия поездов на станцию;

3) при пропуске поездопотоков с минимальным межпоездным интервалом по условиям автоблокировки в первую очередь необходимо увеличивать количество стойл при минимальном фиксированном времени занятия стойла, которое определено совокупностью технологических операций цикловых работ.

ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ ПОЛИГОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОРГАНИЗАЦИЮ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА И СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОПОТОКА

Под полигонной технологией понимается такая технология, которая обеспечивает стабильное продвижение поездопотоков на основе сбалансированных единых ключевых показателей и взаимоувязанных процессов по управлению вагонопотоками, тяговыми ресурсами и ремонтными работами на инфраструктуре нескольких участков железных дорог, объединенных в полигон. Рассмотрим один из ее элементов – это процесс по управлению тяговыми ресурсами.

На Восточном полигоне сети разработана технология работы по управлению локомотивным парком, которая утверждена распоряжением ОАО «РЖД» № 510р от 23.03.16 г. Данная технология определяет и устанавливает порядок:

- организации работы и управления тяговыми ресурсами на Восточном полигоне;
- управления тяговыми ресурсами в период предоставления «окон» по ремонту, модернизации и обслуживанию инфраструктуры;
- расчета потребного количества локомотивов и локомотивных бригад для обеспечения предъявляемого объема перевозок;
- месячного и сменно-суточного планирования грузовых локомотивов по тяговым участкам, в границах дорог и полигона в целом;
- содержания установленного норматива технологического резерва локомотивов на выделенных технических станциях и станциях смены локомотивных бригад;
- взаимодействия диспетчерского аппарата и руководителей: Центра управления тяговыми ресурсами на Восточном полигоне (далее ЦУТР ВП), региональных дирекций управления движением, дирекции тяги, дирекций по ремонту тягового подвижного состава и других участников перевозочного

процесса.

Кроме этого в технологии определены участки обращения локомотивов, плечи обслуживания локомотивных бригад, нормативы пробега локомотивов до проведения цикловых и плановых работ по их обслуживанию и ремонту, нормативы оборота локомотивов на технических станциях, нормативы на техническое обслуживание локомотивов на ПТОЛ, нормы непрерывной продолжительности работы локомотивных бригад и т.д.

Первая технология работы Восточного полигона была разработана в 2002 г. (утверждена заместителями министра путей сообщения Х.Ш. Зябировым и В.Н. Пустовым), которая предусматривала важные для того времени решения работы объединенным локомотивным парком Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской и Дальневосточной железных дорог.

С момента утверждения первой технологии диспетчерский аппарат и специалисты дорог наработали значительный опыт управления тяговыми ресурсами на удлинённых тяговых плечах, поэтому принятый в последнее время вариант такой технологии существенно отличается от первоначального варианта 2002 года. При этом учитывались апробированные методы диспетчерского управления поездной работой.

Положительный эффект от внедрения полигонных технологий в части улучшения показателей использования тяговых ресурсов определил дальнейшую стратегию развития полигонных технологий. С эксплуатацией локомотивов на удлинённых тяговых плечах в границах нескольких дорог возникла необходимость управления тягой из одного центра ответственности. Начиная с 2012 г. начато поэтапное формирование новой системы управления локомотивным парком на основе центров управления тяговыми ресурсами (ЦУТР). Первым на сети был создан ЦУТР Восточного полигона (распоряжение ОАО «РЖД» № 685р от 5.04.2012 г.).

На Центр управления тяговыми ресурсами возложены следующие задачи:

- организация и управление работой по регулированию парка локомотивов и локомотивных бригад в границах полигона для обеспечения заданных объемов

перевозок и эффективного использования пропускных способностей инфраструктуры, производственных мощностей ремонтных локомотивных депо и пунктов технического обслуживания локомотивов;

- организация и координация разработки единого технологического процесса работы локомотивов и локомотивных бригад грузового движения с учетом использования локомотивных парков, плеч тягового обслуживания, перерабатывающей способности сортировочных, припортовых, пограничных станций и междорожных стыковых пунктов и выполнения директивного плана-графика предоставления «окон» для ремонта и содержания объектов инфраструктуры.

Для оценки влияния принятых технологий построим условную схему полигона (см. рисунок 5.1), где обозначены 2 кольца обращения локомотивов. На первом кольце (МК) обращается парк локомотивов M_1 , время оборота составляет Θ_1 . Данный парк локомотивов и оборот обеспечивают суточные размеры движения n_1 , соответственно на кольце КХ: M_2, Θ_2, n_2 . Для стабильного движения, о чем уже было сказано выше, должно выполняться условие $n_1 = n_2$, при этом потребный парк зависит от оборота локомотивов на кольцах (Θ). В случае увеличения времени оборота на одном из участков этот баланс нарушается, то есть $n_1 > n_2$ или наоборот. Вследствие этого не обеспечивается вывоз поездов со станции стыкования колец обращения локомотивов К, так как уменьшается поступление локомотивов с участка с увеличенным оборотом локомотива. Из-за этого происходит скопление поездов на подходах к станции К и, соответственно, увеличение оборота локомотива на смежном участке. Происходит это до тех пор, пока баланс не восстанавливается.

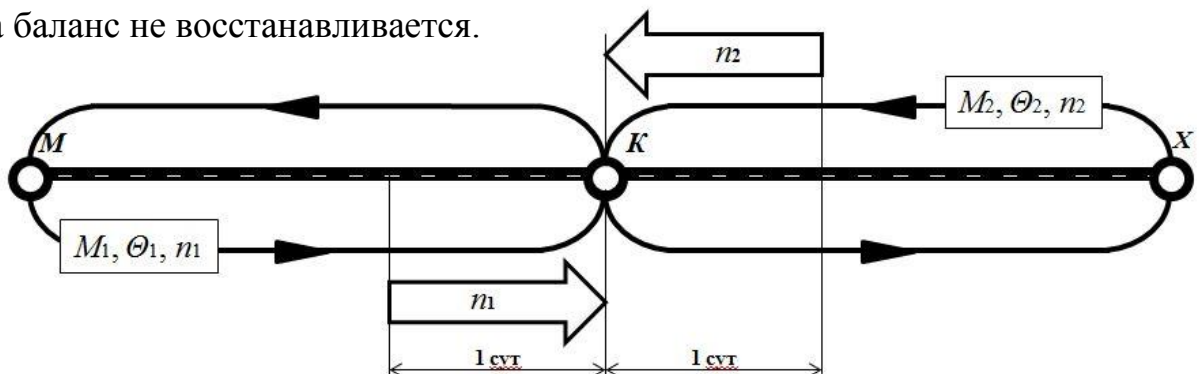


Рисунок 5.1. Условная схема обращения локомотивов

Количественно такое соотношение имеет следующий вид:

$$M_1 / (\Theta_1 + \Delta\Theta_1) = M_2 / (\Theta_2 + \Delta\Theta_2), \quad (5.1)$$

где

$\Delta\Theta_2$ – приращение времени оборота локомотива на участке КХ из-за различных эксплуатационных факторов, сут;

$\Delta\Theta_1$ – приращение времени оборота локомотива на участке МК из-за скопления поездов на подходах к станции К по причине дефицита локомотивов для вывоза поездов с участка МК, сут.

При этом, если умножить $\Delta\Theta_1$ на суточные размеры движения на участке МК, то получим непроизводительные потери локомотивного парка на данном кольце обращения ΔM_1 :

$$\Delta M_1 = n_1 \cdot \Delta\Theta_1 \quad (5.2)$$

В своих трудах С.Я. Айзиндуд, П.И. Кельперис в 80-ые годы [2] и более позднее В.И. Некрашевич [77], и В.А. Кудрявцев [47] описывают решение проблемы дефицита локомотивов для вывоза поездов со станций оборота на основании передовых методов железных дорог, например, – ввод сквозных ПТОЛ, то есть пропуск части локомотивов на незакрепленный участок, тем самым компенсируя дефицит. Есть еще методы и способы принятия управленческих решений, которые позволяют в какой-то мере решать данную проблему, но они научно не обоснованы и не оценены экономически.

Рассмотрим условное направление железнодорожной линии МХ (см. рисунок 5.2), в которое входят два кольца обращения локомотивов МК и КХ, три технические станции М, К и Х с технологией работы, предусматривающей отцепку локомотивов от поездов для проведения технического обслуживания на ПТОЛ. На участке МК закреплен парк локомотивов M_1 , на участке КХ парк M_2 , который равен, соответственно, на каждом кольце 200 единицам. Длина каждого участка 2000 км, нормативное время оборота Θ локомотива на каждом участке с учетом времени нахождения на технических станциях их смены составляет четверо суток. Размеры движения определяются следующей зависимостью:

$$n = M / \Theta \quad (5.3)$$

В данном случае заданный парк при нормативном времени оборота обеспечивает суточные размеры движения в 50 пар грузовых поездов, то есть в суточном створе на расстоянии 1000 км одновременно расположено 50 поездов, что обеспечивает маршрутную скорость движения грузовых поездов и пробег локомотива 1000 км/сут. Техническая станция К разменивает поезда, поступающие со стороны станции М, используя локомотивы, прибывающие со стороны станции Х и, соответственно, для размена поездов, прибывающих со стороны станции М используются локомотивы, поступающие с участка МК.

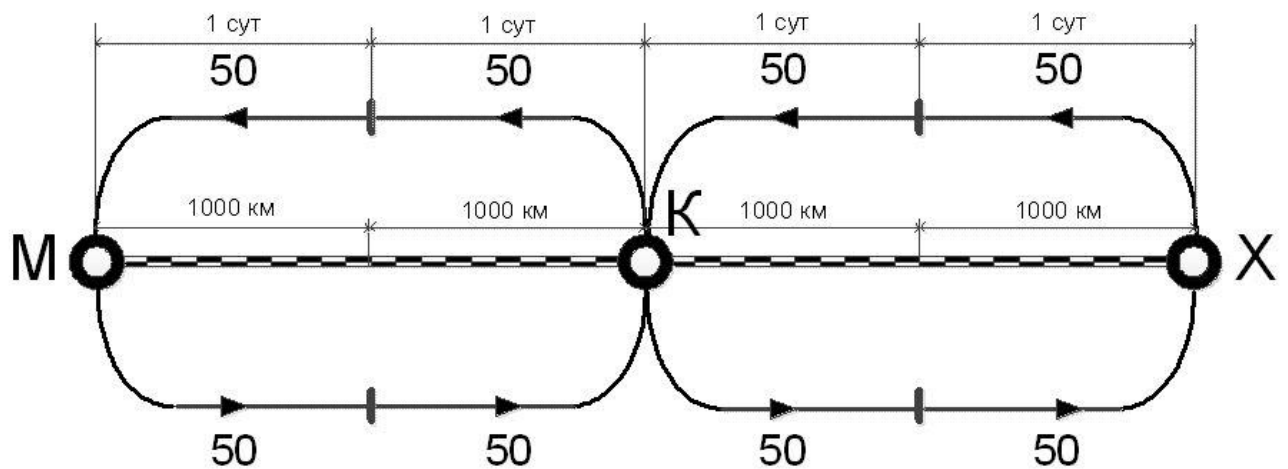


Рисунок 5.2. Условный участок железнодорожной линии МКХ

В реальной жизни два смежных кольца обращения, как правило, имеют разную техническую оснащенность, разные планы по объемам ремонта инфраструктуры, разное техническое состояние пути и т.д., поэтому нормативное время оборота увеличивается, при этом неравномерно на каждом из участков обращения локомотивов.

Для примера приведем статистические данные по выполнению среднесуточного пробега локомотива на Забайкальской железной дороге в период с 2009 по 2014 годы, построив диаграмму рассеивания среднесуточного пробега в течение года (см. рисунок 5.3). Проанализировав полученный результат, можно сделать вывод, что в период массового предоставления «окон» в период с мая по октябрь для ремонта и содержания объектов инфраструктуры (в первую очередь путевого комплекса) средневзвешенный среднесуточный пробег локомотива на 15% ниже показателей периода ноября – апреля месяца.

Для оценки изменения параметров работы направления проанализируем несколько вариантов принятия управленческих решений при условии, что оборот локомотива Θ_1 на участке МК не изменился, а на участке КХ оборот Θ_2 увеличился на сутки, то есть в суточном створе будет уже 40 поездов, а пробег локомотива и маршрутная скорость на участке КХ уменьшилась до 800 км/сут. То есть с участка КХ поступление поездов и локомотивов уменьшилось до 40, что привело к сокращению вывоза поездов, поступающих с участка МК, по станции К также до 40 поездов. Дефицит локомотивов составляет 10 единиц.

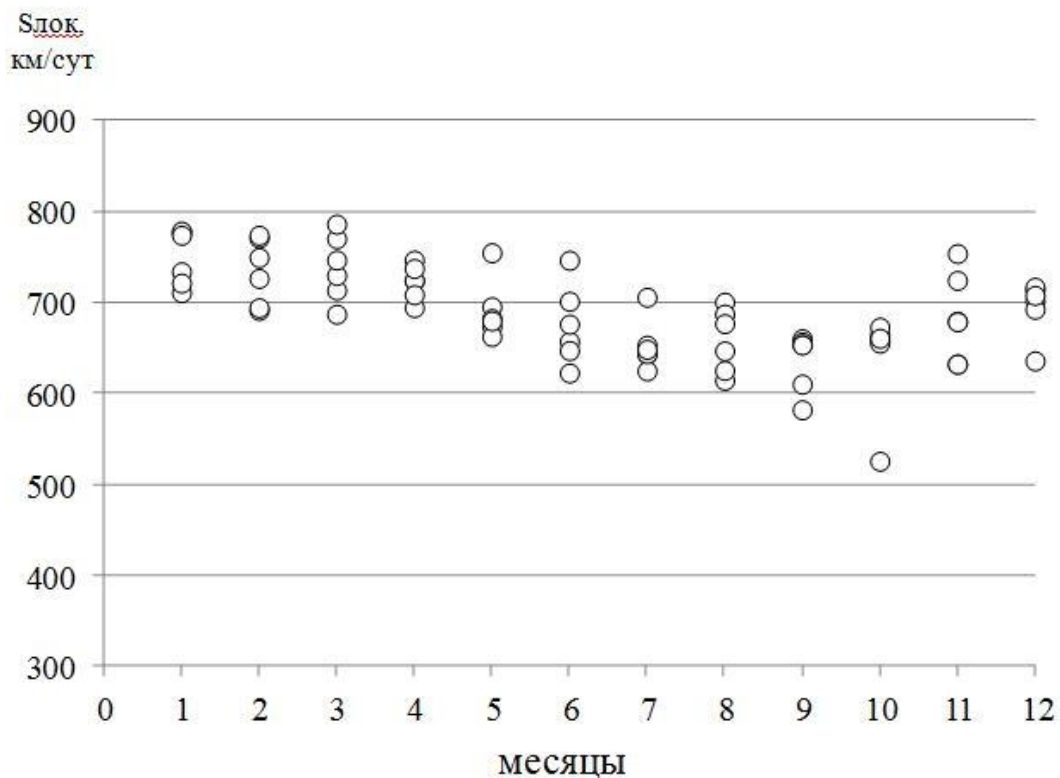


Рисунок 5.3. Диаграмма рассеивания среднесуточного пробега локомотива на Забайкальской железной дороге в течение года (2009-2014 гг.)

Существует четыре основных варианта принятия управленческих решений:

- со станции К обеспечивается вывоз поездов участка МК только локомотивами участка КХ;

- со станции К обеспечивается вывоз поездов участка МК только локомотивами участка КХ. Поезда, которые не обеспечены локомотивами, отставлять от движения на подходах к станции К;

- для обеспечения вывоза поездов с участка МК использовать локомотивы участка МК, пропуская их на незакрепленный перегон;

- для обеспечения вывоза поездов использовать резервный парк локомотивов.

Каждый вариант рассмотрим с помощью моделирования развития ситуации в течение трех суток, фиксируя каждые сутки следующие параметры работы направления МХ: суточная маршрутная скорость грузовых поездов, суточный пробег локомотивов, парк локомотивов.

В первом варианте (см. рисунок 5.4) со станции К обеспечивается вывоз поездов участка МК только локомотивами участка КХ, суточный дефицит составляет 10 локомотивов участка КХ.

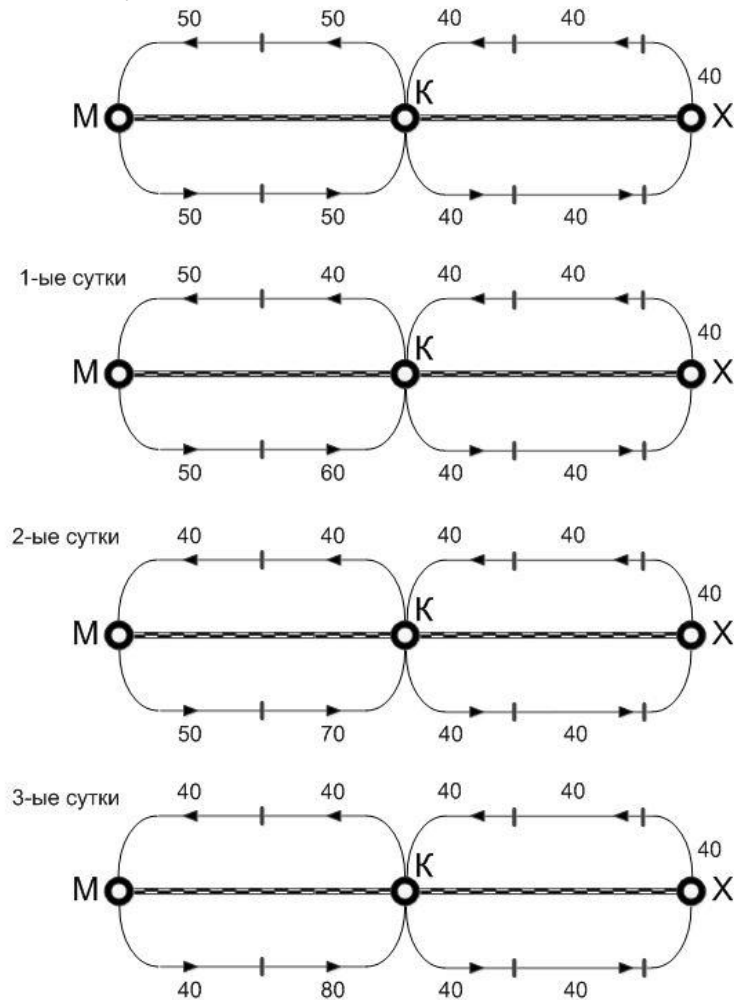


Рисунок 5.4. Развитие поездной ситуации (первый вариант).

Поезда, которые не обеспечены локомотивом для вывоза их со станции К, задерживаются на подходах к станции К в ожидании своей очереди приема на

станцию. Через сутки на подходе со стороны станции М к станции К находится 60 поездов, при этом возврат локомотива на станцию М со станции К за сутки составил 40 единиц. Через сутки на подходе к станции К уже 70 поездов, возврат 40 локомотивов и на третьи сутки в подходе 80 поездов, при этом со станции М отправлено 40 поездов, так как во вторые сутки вернулось всего 40 локомотивов. Такая ситуация осложняет работу диспетчерских участков на подходах к станции К из-за заполнения их емкостей и приводит к дефициту локомотивов для вывоза поездов со станции М. На третьи сутки маршрутная скорость грузовых поездов падает до 800 км/сут, пробег локомотива – до 800 км/сут.

Второй вариант (см. рисунок 5.5) так же предполагает обеспечение вывоза поездов участка МК только локомотивами участка КХ, но при этом поезда, которые не обеспечены локомотивами, отставляются от движения на подходах к станции К на величину дефицита локомотивов участка КХ.

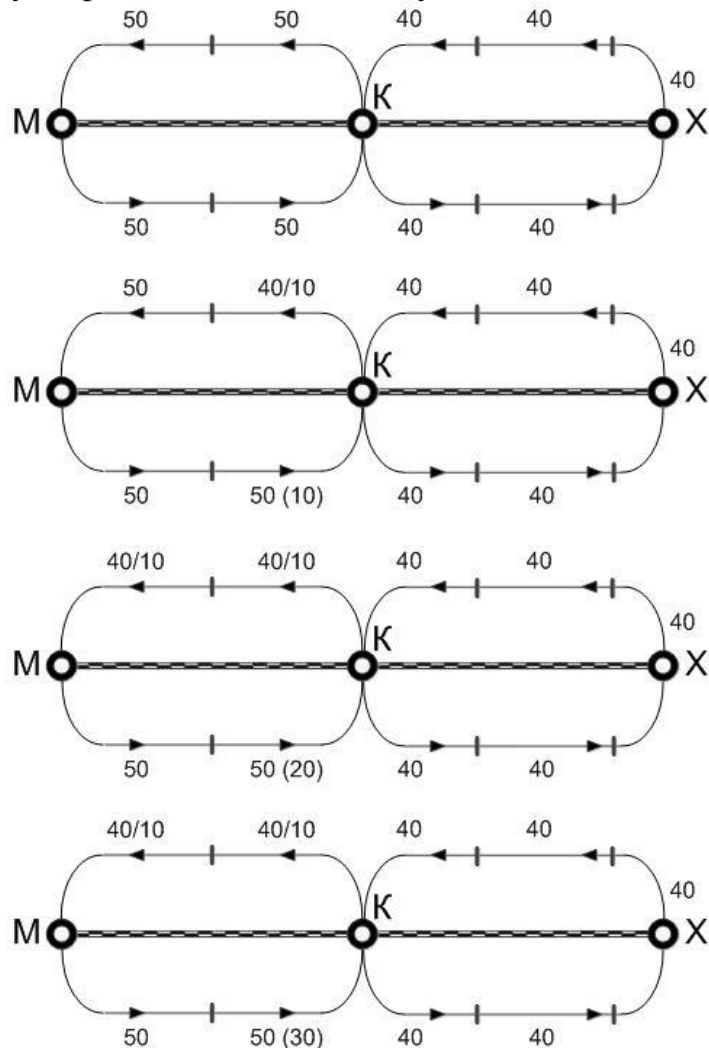


Рисунок 5.5. Развитие поездной ситуации (второй вариант).

То есть в первые сутки отставлено 10 поездов и 10 локомотивов направлены на станцию М, на третьи сутки отставлено от движения 30 поездов, при этом дефицита для вывоза поездов со станции М не возникло, и ежедневно со станции отправлялось 50 поездов в направлении станции К. Маршрутная скорость грузовых поездов в конце рассматриваемого периода составила 825 км/сут, пробег локомотива – 900 км/сут.

В третьем варианте (см. рисунок 5.6) для обеспечения вывоза поездов с участка МК используются локомотивы участка МК, то есть складывающийся дефицит локомотивов участка КХ компенсируется локомотивами участка МК.

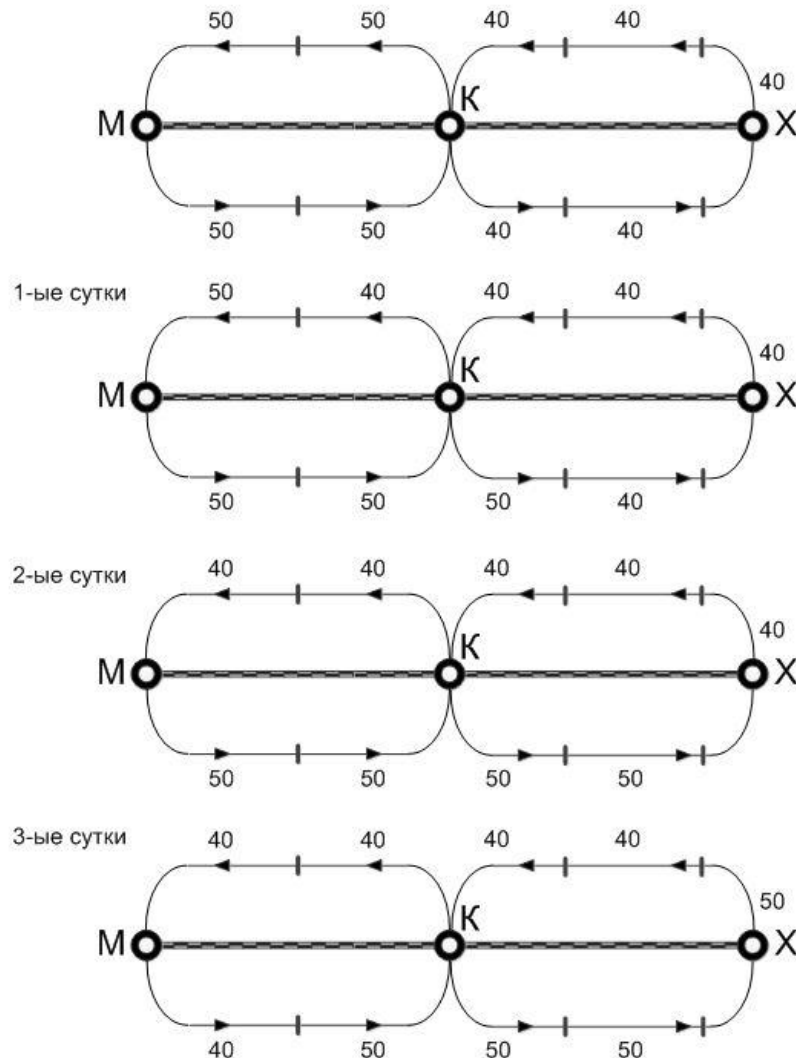


Рисунок 5.6. Развитие поездной ситуации (третий вариант).

В первые сутки со станции К в сторону станции Х отправлено 50 поездов, 40 локомотивами участка КХ и 10 локомотивами участка МК, возврат локомотивов на станцию М со станции К составил 40 единиц. В конце третьих

суток на участок КХ пропущено 30 локомотивов участка МК, обеспечено продвижение дополнительно в отличие от первых двух вариантов 30 грузовых поездов по участку КХ, но при этом возник дефицит локомотивов по станции М и отправление в последние сутки с данной станции составило 40 поездов. Маршрутная скорость грузовых поездов составила 885 км/сут, пробег локомотива – 900 км/сут.

Четвертый вариант (см. рисунок 5.7) предполагает наличие резервного парка локомотивов по станции К для обеспечения вывоза поездов со станции.

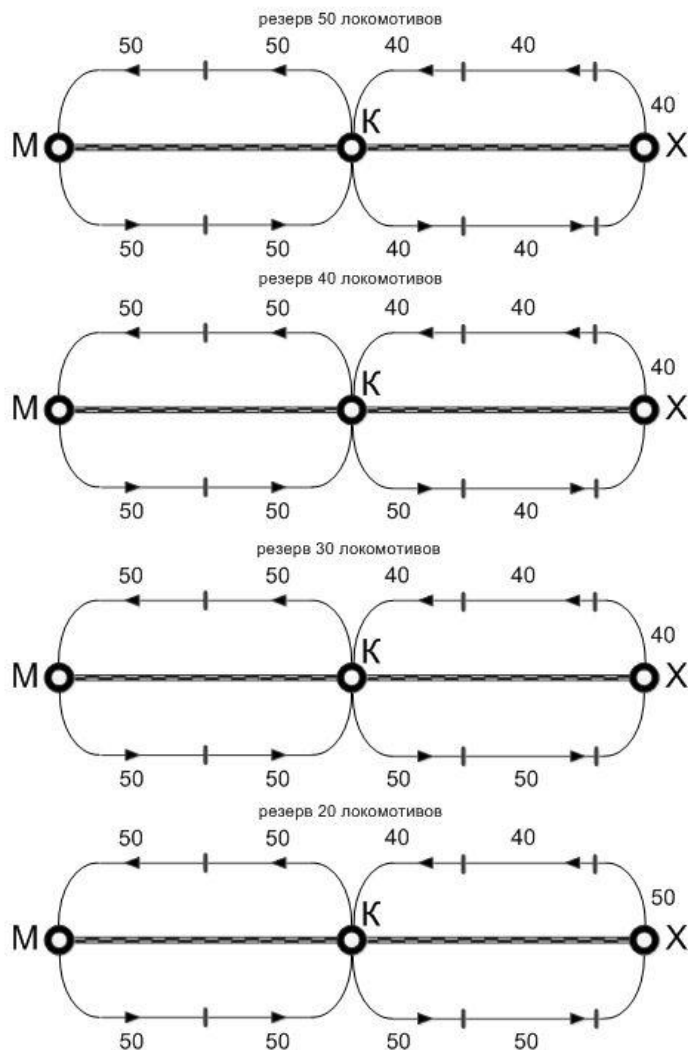


Рисунок 5.7. Развитие поездной ситуации (четвертый вариант).

То есть ежедневно в рассматриваемом периоде изымается из резерва по 10 локомотивов для покрытия складывающегося дефицита локомотивов на участке МК, при этом обеспечивается возврат локомотивов на станцию М в количестве 50

единиц ежедневно. К концу периода направлено в работу дополнительно 30 локомотивов. Маршрутная скорость грузовых поездов составила 900 км/сут, пробег локомотива – 900 км/сут. Парк локомотивов увеличился на направлении до 430 единиц.

Полученные расчеты по параметрам работы направления в зависимости от вариантов принятия управленческих решений сведем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1.

Изменение параметров работы направления в зависимости
от вариантов принятия управленческих решений

Показатель	Сутки		
	1	2	3
первый вариант			
Пробег локомотива, км/сут.	875	850	800
Маршрутная скорость, км/сут.	875	850	800
Парк локомотивов, ед.	400	400	400
второй вариант			
Пробег локомотива, км/сут.	900	900	900
Маршрутная скорость, км/сут.	875	850	825
Парк локомотивов, ед.	400	400	400
третий вариант			
Пробег локомотива, км/сут.	900	900	900
Маршрутная скорость, км/сут.	895	890	885
Парк локомотивов, ед.	400	400	400
четвертый вариант			
Пробег локомотива, км/сут.	900	900	900
Маршрутная скорость, км/сут.	900	900	900
Парк локомотивов, ед.	410	420	430

Развитие поездной ситуации в каждом варианте приводит к изменению показателей работы направления МХ. Парк локомотивов остается неизменным в

первых трех вариантах, в четвертом увеличивается на 10 единиц за счет резервного парка. Пробег локомотива худший в первом варианте и к концу рассматриваемого периода меньше на 100 км/сут, чем в остальных вариантах. Что касается маршрутной скорости, то наиболее приемлемые третий и четвертый варианты, которые обеспечивают наилучший результат.

Рассмотрим графики изменения показателей работы направления по всем вариантам принятия управленческих решений (см. рисунок 5.8).

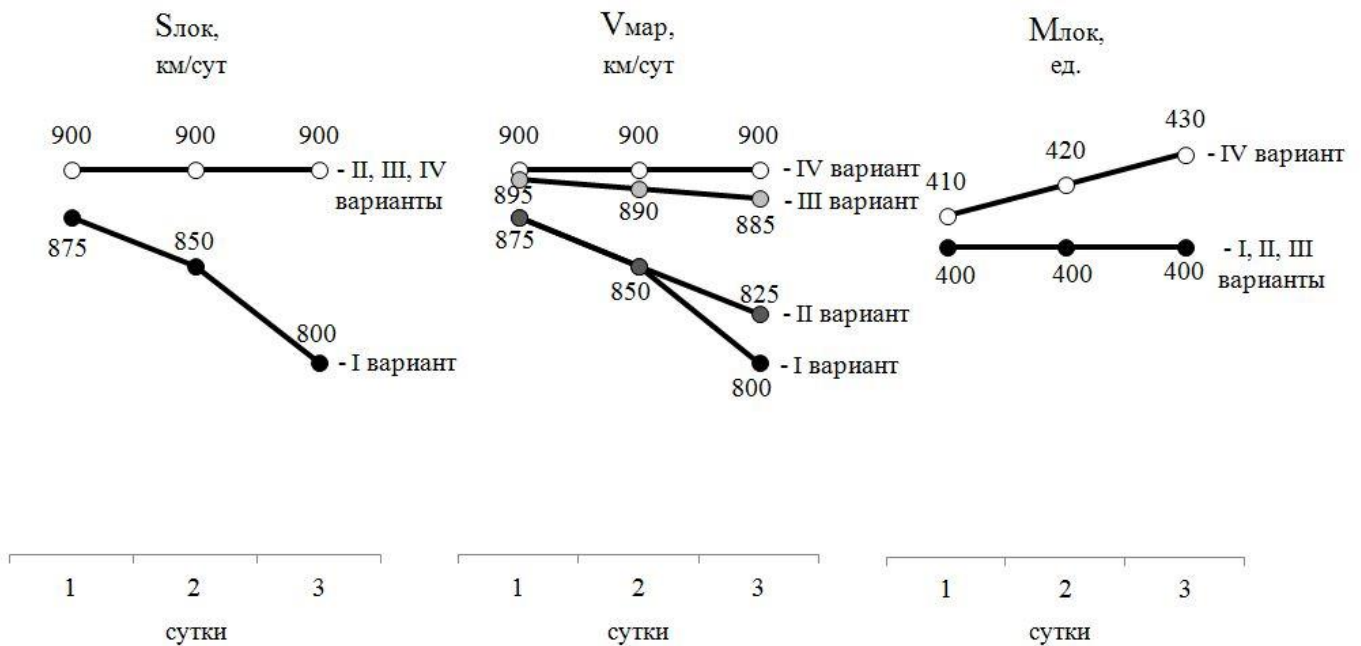


Рисунок 5.8. Выполнение показателей работы направления в зависимости от вариантов принятых решений

В реальных условиях эксплуатации могут использоваться все варианты в той или иной степени в зависимости от решаемых задач и наличия тяговых ресурсов. Наиболее приемлемый четвертый вариант, который показывает наилучшие результаты по показателям маршрутной скорости и среднесуточного пробега локомотива, но требует постоянного резерва локомотивов.

Второй вариант приемлем при условии необходимости возврата локомотивов на станцию М и вывоза поездов с данной станции, при этом необходимо четкое понимание как в дальнейшем обеспечивать подъем отставленных от движения поездов, так как при неизменности условий на участке

КХ возникнет необходимость в «бросании» поездов на участке МК.

Третий вариант, при условии отсутствия резерва локомотивов и перспектив изменения оборота локомотивов на участке КХ, наиболее приемлем, так как позволяет продвигать поездопоток по сравнению с первыми двумя вариантами с наибольшей маршрутной скоростью, максимально качественно используя локомотивы.

В процессе управления поездной работой диспетчерский аппарат дороги и ЦУТР применяет те или иные способы принятия решений, стремясь к продвижению поездопотока с приемлемыми параметрами качества работы. Приведенные выше варианты принятия управленческих решений на условном полигоне, наглядно показывают суть каждого варианта, при этом основные параметры работы в большей степени связаны с работой станции К и ближайших подходов к данной станции. В первом варианте время занятия приемоотправочного пути станции К будет увеличиваться, так как готовые составы будут ожидать локомотивов.

Выводы по главе 5

На работу станции смены локомотивов и на направление в целом, в случае изменения нормативных параметров работы локомотива (оборота на участке обслуживания или среднесуточного пробега), оказывают существенное влияние варианты принятия управленческих решений на протяженных полигонах. В работе рассмотрены четыре основных варианта по управлению локомотивами со стороны диспетчерского аппарата ЦУТР и ДЦУП. В зависимости от принятых решений меняются качественные показатели использования подвижного состава на полигонах обращения локомотивов. Это влияет на параметры вывоза поездов со станции смены локомотивов и на время занятия приемоотправочных путей поездами.

ГЛАВА 6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ГАРМОНИЗАЦИИ РАЗМЕРОВ ПОЕЗДОПОТОКОВ И РЕАЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

6.1 Статистический анализ потерь поездоочасов на основном направлении Транссиба в границах Забайкальской железной дороги

Экономическая эффективность методических подходов по выявлению и уменьшению влияния факторов, дестабилизирующих пропуск грузовых поездов, рассчитывается через оценку потерь поездоочасов. Потери поездоочасов – это дополнительные поездочасы, которые затрачены при движении по участку сверх установленного графиком времени. Общие поездочасы складываются из поездоочасов, заложенных в графике, и сверграфиковых поездоочасов (или поездоочасов потерь):

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{гр}} + P_{\text{св гр}}, \quad (6.1)$$

$$P_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^N t_{\text{общ}i} = \sum_{i=1}^N t_{\text{гр}i} + \sum_{i=1}^N t_{\text{св}грi}, \quad (6.2)$$

где

$P_{\text{общ}}$ – общие поездочасы;

$P_{\text{гр}}$ – графиковые поездочасы;

$P_{\text{св гр}}$ – поездочасы потерь;

$t_{\text{общ}i}$ – фактическое время следования поезда по участку, ч;

$t_{\text{гр}i}$ – время следования поезда по участку, установленное графиком движения, ч;

$t_{\text{св гр}i}$ – время задержек поезда на участке, ч;

Графически времена $t_{\text{гр}i}$ и $t_{\text{св гр}i}$ показаны на рисунке 6.1.

Поездочасы потерь непосредственно связаны с дополнительными расходами на содержание локомотивов и локомотивных бригад и влияют в конечном итоге на время их оборота на участке.

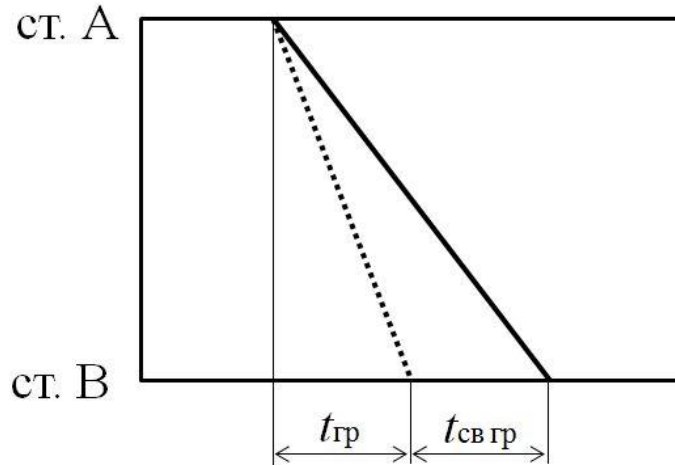


Рисунок 6.1. Условный график следования поезда по участку (штриховая нитка – установленная графиком, черная – фактическая нитка)

На рисунке 6.2 показаны среднесуточные потери поездоочасов за каждый месяц в период с 2009 по 2012 гг. На диаграмме хорошо видно, что потери колеблются от 39 до 2483 поездоочасов (соответственно январь 2009 г. и июль 2012 г.) и неравномерны в течение года. Они носят пиковый характер, возрастая в период ремонтно-путевой кампании и максимального графика движения пассажирских поездов. Но в «безоконный» сезон снижение происходит до уровня, который уже значительно выше предыдущих периодов. Подробно причины объясняются в главе 2 диссертации.

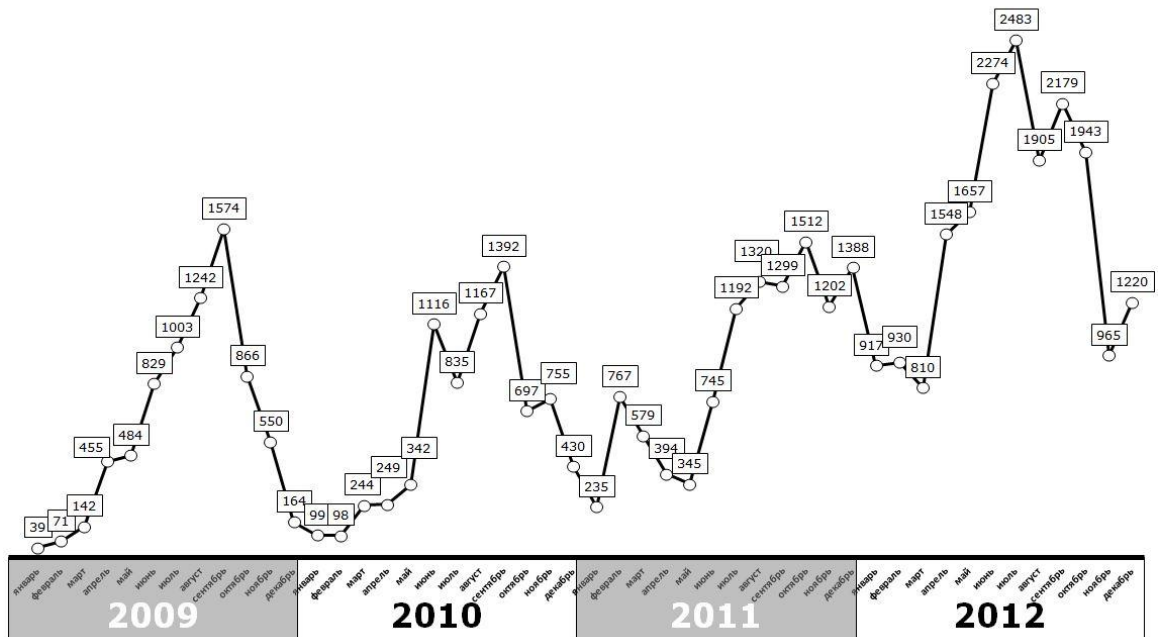


Рисунок 6.2. Среднесуточные потери поездоочасов на Забайкальской железной дороге за каждый месяц в период 2009-2012 гг.

На рисунке 6.3 представлены среднесуточные потери поездоочасов за год в аналогичный период, ежесуточные потери поездоочасов в 2012 году выросли по сравнению с 2009 годом в 2,5 раза (618 поездоочасов – 2009 г., 1569 поездоочасов – 2012 г.).

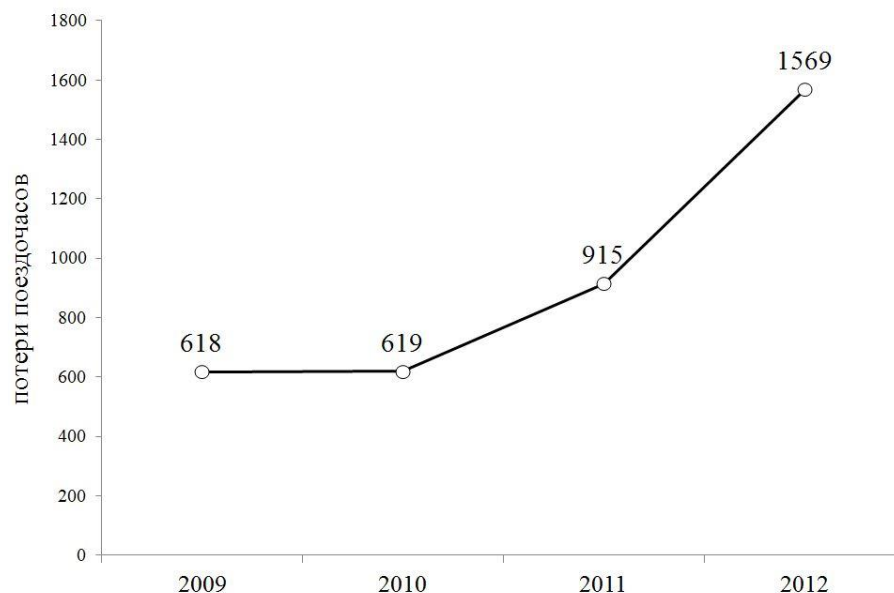


Рисунок 6.3. Среднесуточные потери поездоочасов на Забайкальской железной дороге в период 2009-2012 гг.

На рисунке 6.4 показан прием поездов по стыку Петровский Завод за каждый месяц в период с 2009 по 2012 гг. Прием поездов за четыре года вырос на 14 % (2009 г. – 56 поездов, 2012 г. – 64 поезда), при этом, как отмечено выше, среднесуточные потери поездоочасов выросли в 2,5 раза, то есть при увеличении размеров движения на один поезд прирост потерь поездоочасов составляет порядка 118 поездоочасов.

В целях определения зависимости потерь поездоочасов построим поле корреляции количества поездов, принимаемых по стыку Петровский Завод, и потерь поездоочасов, приходящихся на один пропущенный поезд (см. рисунок 6.5). Каждая точка – это среднесуточные потери поездоочасов, приходящиеся на один пропущенный поезд, и среднесуточное количество поездов, принятых по стыку Петровский Завод, за каждый месяц в период с 2009 по 2012 гг. То есть данное поле рассеивания показывает какие были поездоочасы потерь в указанный период при изменении размеров движения поездов, входящих на дорогу по западному стыку.

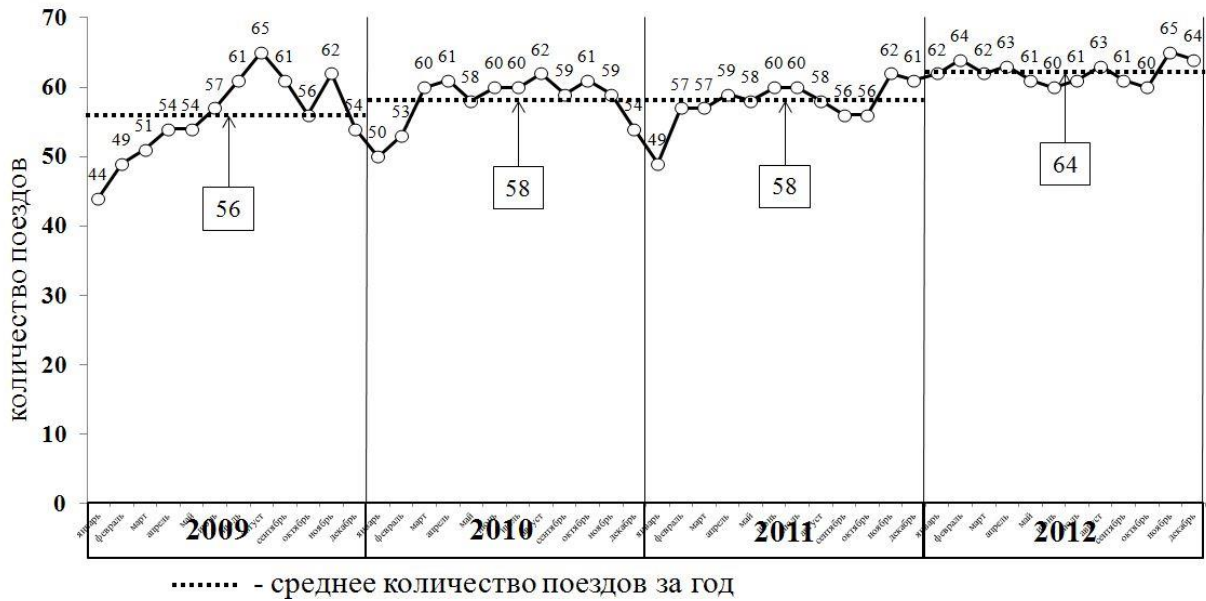


Рисунок 6.4. Среднесуточный прием поездов по стыку Петровский Завод за каждый месяц в период 2009-2012 гг.

По результатам анализа исходных параметров принята зависимость между потерями поездоочасов, приходящимися на один поезд, и размерами движения следующего вида:

$$P_{св\ гр} = a \cdot e^{b \cdot n}, \quad (6.3)$$

где

n – количество поездов, принимаемых по станции Петровский Завод с Восточно-Сибирской железной дороги;

a, b – эмпирические коэффициенты.

Для распределения поездопотерь и размеров движения периода 2009-2012 гг. зависимость определяется соответственно:

$$P_{св\ гр}^I = 0,0023 \cdot e^{0,1454n}, \quad (6.4)$$

На рисунке 5.5 показана зависимость потерь поездоочасов от размеров движения. По этой модели проведем расчеты для следующих размеров движения:

$$50 \text{ поездов } P_{св\ гр}^I = 0,0023 \cdot e^{0,1454 \cdot 50} = 3,3 \text{ поездоочаса};$$

$$60 \text{ поездов } P_{св\ гр}^I = 0,0023 \cdot e^{0,1454 \cdot 60} = 14,1 \text{ поездоочаса.}$$

$$70 \text{ поездов } P_{св\ гр}^I = 0,0023 \cdot e^{0,1454 \cdot 70} = 60,5 \text{ поездоочаса.}$$

$$80 \text{ поездов } P_{св\ гр}^I = 0,0023 \cdot e^{0,1454 \cdot 80} = 259,1 \text{ поездоочаса.}$$

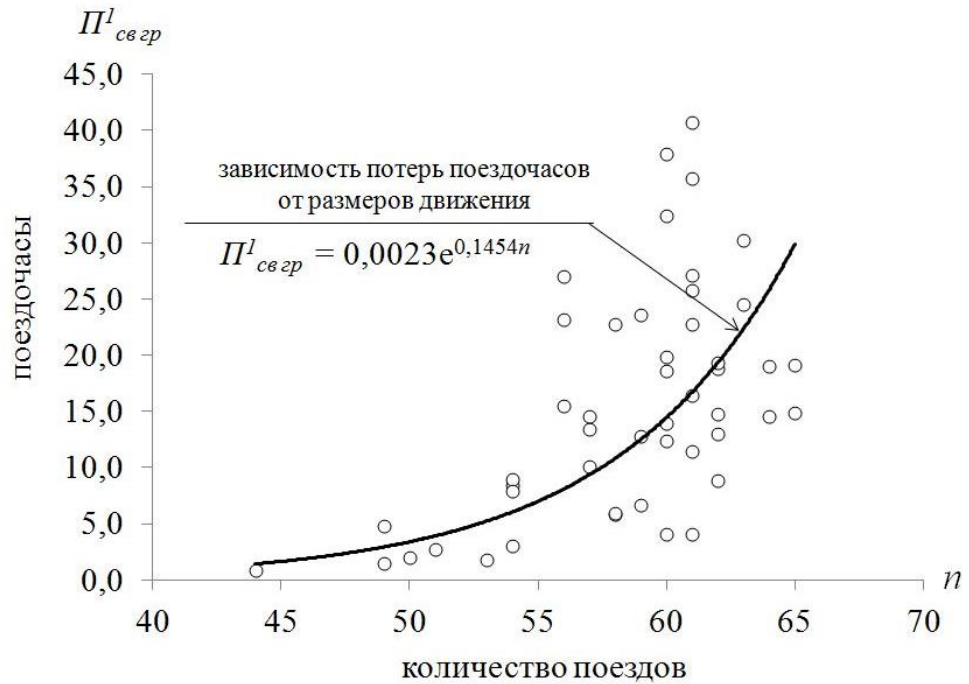


Рисунок 6.5. Диаграмма рассеивания среднесуточного приема поездов по стыку Петровский Завод и потерь поезdochасов, приходящиеся на один поезд, за каждый месяц с 2009 по 2012 гг.

Расчеты показывают, что при увеличении размеров движения с 50 до 60 поездов (на 20%) потери поезdochасов, приходящиеся на один поезд, увеличиваются с 3,3 до 14,1 поезdochаса (в 4,3 раза). Результаты расчетов по параметрам движения от 50 до 80 поездов сведены в таблицу 6.1

Таблица 6.1

Параметры потерь поезdochасов $\Pi^I_{св гр}$ при изменении n

n	$\Pi^I_{св гр}$	n	$\Pi^I_{св гр}$	n	$\Pi^I_{св гр}$	n	$\Pi^I_{св гр}$	n	$\Pi^I_{св гр}$	n	$\Pi^I_{св гр}$
50	3,3	55	6,8	60	14,1	65	29,3	70	60,5	75	125,2
51	3,8	56	7,9	61	16,4	66	33,8	71	70,0	76	144,8
52	4,4	57	9,1	62	18,9	67	39,1	72	81,0	77	167,5
53	5,1	58	10,6	63	21,9	68	45,3	73	93,6	78	193,7
54	5,9	59	12,2	64	25,3	69	52,3	74	108,3	79	224,0
										80	259,1

Зависимость общих потерь поезdochасов от размеров движения определяется следующим соотношением:

$$\Pi_{св гр} = n \cdot \Pi^I_{св гр} \quad (6.5)$$

$$P_{св\ гр} = 0,0023 \cdot n \cdot e^{0,1454n} \quad (6.6)$$

Данные расчетов суммарных потерь поездочасов в диапазоне от 50 до 80 поездов в сутки сведены в таблицу 6.2.

Таблица 6.2

Параметры потерь поездочасов $P_{св\ гр}$ при изменении n

n	$P_{св\ гр}$	n	$P_{св\ гр}$	n	$P_{св\ гр}$
50	165,2	60	848,5	70	4237,2
51	194,9	61	997,7	71	4970,3
52	229,8	62	1172,7	72	5829,1
53	270,9	63	1378,1	73	6835,0
54	319,2	64	1619,1	74	8013,0
55	376,0	65	1901,8	75	9392,3
56	442,7	66	2233,2	76	11007,0
57	521,1	67	2621,9	77	12897,1
58	613,3	68	3077,5	78	15109,3
59	721,5	69	3611,4	79	17697,9
				80	20726,8

6.2 Применение метода единичных расходных ставок к оценке увеличения эксплуатационных расходов от потерь поездочасов

Экономическую оценку потерь поездочасов можно провести, используя метод единичных расходных ставок. Согласно [34] «метод расходных ставок базируется на зависимости расходов от объема работ, выраженного в различных измерителях». В [34] указано, что «данный метод целесообразно применять для определения себестоимости перевозок, как в целом, так и по видам тяги, сообщения, по категориям поездов и операциям технологического процесса, производить оценку влияния изменения показателей использования подвижного состава на эксплуатационные расходы...».

Единичная расходная ставка определяется делением суммы зависящих

расходов от одного и того же измерителя на величину измерителя. Расчет единичных расходных ставок проводится ежегодно на основании эксплуатационных расходов отчетного периода.

В качестве измерителя используем поездочасы потерь, в качестве расходной ставки – стоимость одного поездочаса, который включает себя эксплуатационные расходы на содержание локомотивов и фонд заработной платы локомотивных бригад. То есть дополнительные затраты на пропуск одной нитки поезда в сутки определяются:

$$\mathcal{E}_{nom} = \Pi_{св гр}^l \cdot e_{нч}, \quad (6.7)$$

где

$e_{нч}$ – укрупненная единичная расходная ставка стоимости одного поездочаса, руб.

Укрупненную единичную расходную ставку стоимости одного поездочаса принимаем рассчитанную экономической службой Забайкальской дороги в соответствии [63] по итогам 2014 г. в размере 2913,16 руб.

Проведем расчеты, используя соотношения (6.5 - 6.7):

для 55 поездов $\mathcal{E}_{nom} = 6,8 \cdot 2913,16 = 19809,49$ руб.

для 65 поездов $\mathcal{E}_{nom} = 29,3 \cdot 2913,16 = 85355,59$ руб.

Расчеты дополнительных затрат по параметрам движения от 50 до 80 поездов сведем в таблицу 6.3.

Таблица 6.3

Параметры дополнительных затрат \mathcal{E}_{nom} при изменении n

n	\mathcal{E}_{nom} , руб.	n	\mathcal{E}_{nom} , руб.	n	\mathcal{E}_{nom} , руб.
50	9625,27	60	41198,10	70	176336,17
51	11131,65	61	47645,69	71	203933,15
52	12873,77	62	55102,34	72	235849,11
53	14888,55	63	63725,97	73	272759,99
54	17218,64	64	73699,22	74	315447,49
55	19913,39	65	85233,30	75	364815,68
56	23029,87	66	98572,49	76	421910,10

Продолжение таблицы 6.3

<i>n</i>	$\mathcal{E}_{ном}$ руб.	<i>n</i>	$\mathcal{E}_{ном}$ руб.	<i>n</i>	$\mathcal{E}_{ном}$ руб.
57	26634,10	67	113999,29	77	487939,90
58	30802,39	68	131840,42	78	564303,51
59	35623,03	69	152473,72	79	652618,18
				80	754754,29

Годовые потери определяются следующим соотношением:

$$\mathcal{E}_{ном год} = \mathcal{E}_{ном} \cdot n \cdot 365, \quad (6.8)$$

Проведем расчеты с округлением до млн. руб.:

для 55 поездов $\mathcal{E}_{ном} = 19809,49 \cdot 55 \cdot 365 = 397,67$ млн. руб.;

для 65 поездов $\mathcal{E}_{ном} = 85355,59 \cdot 65 \cdot 365 = 2\,025,06$ млн. руб.;

для 75 поездов $\mathcal{E}_{ном} = 364815,68 \cdot 75 \cdot 365 = 9\,986,83$ млн. руб.

Расчеты по годовым потерям $\mathcal{E}_{ном год}$ в пределах параметров движения от 50 до 80 поездов сведем в таблицу 6.4.

Таблица 6.4

Параметры годовых дополнительных затрат $\mathcal{E}_{ном год}$ при изменении *n*

<i>n</i>	$\mathcal{E}_{ном год}$ млн. руб.	<i>n</i>	$\mathcal{E}_{ном год}$ млн. руб.	<i>n</i>	$\mathcal{E}_{ном год}$ млн. руб.
50	175,66	60	902,24	70	4 505,39
51	207,22	61	1 060,83	71	5 284,93
52	244,34	62	1 246,97	72	6 198,11
53	288,02	63	1 465,38	73	7 267,69
54	339,38	64	1 721,61	74	8 520,24
55	397,67	65	2 025,06	75	9 986,83
56	470,73	66	2 374,61	76	11 703,79
57	554,12	67	2 787,85	77	13 713,55
58	652,09	68	3 272,28	78	16 065,72
59	767,14	69	3 840,05	79	18 818,25
				80	22 038,82

6.3 Экономическая оценка мероприятий по стабилизации пропуска поездопотоков

Для расчета экономической оценки эффективности проводимых мероприятий по стабилизации перевозочного процесса железнодорожного направления, используя методы, изложенные в § 6.1, 6.2 диссертации, необходимо:

- использовать статистические параметры потерь поезدочасов в предшествующем и рассматриваемом периоде;
- получить регрессионную зависимость потерь поездочасов от размеров движения на основании параметров распределения двух периодов;
- сравнить кривые зависимостей потерь поездочасов от размеров движения, получив разницу между значениями регрессионных функций двух периодов;
- оценить изменение параметров значений регрессионных функций двух периодов, используя укрупненную единичную расходную ставку стоимости поездочаса;
- сделать выводы по эффективности проводимых мероприятий по стабилизации перевозочного процесса железнодорожного направления.

Проведем данные исследования по вышеизложенной методике оценки мероприятий по стабилизации перевозочного процесса для Забайкальской дороги в двух периодах ее работы: с 2009 по 2012 гг. (I период) и с 2013 по 2015 гг. (II период).

На рисунке 6.6 показана диаграмма рассеивания среднесуточного приема поездов по стыку Петровский Завод и потери поездочасов, белые точки – это I период, черные – II период. На рисунке хорошо видно, что черные точки смещены вправо, что говорит о достижении сопоставимых потерь поездочасов во II периоде при больших размерах движения.

Регрессионная зависимость потерь поездочасов от размеров движения I периода определяется соотношением (6.4): $P_{св зр (I)}^I = 0,0023 \cdot e^{0,1454n}$

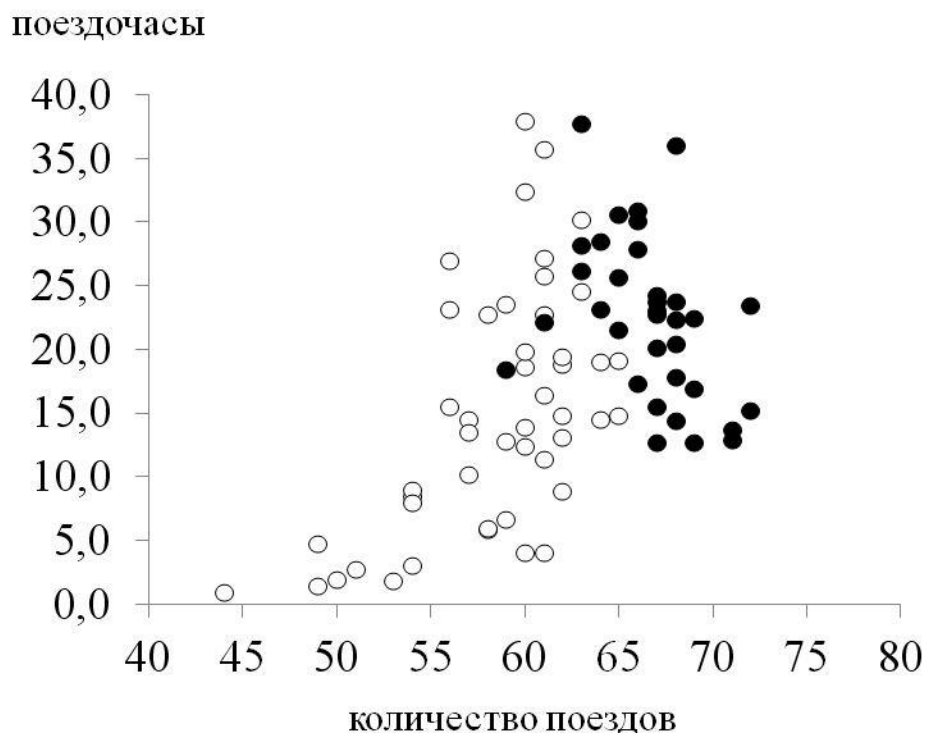


Рисунок 6.6. Диаграмма рассеивания среднесуточного приема поездов по стыку Петровский Завод и потери поездочасов, приходящиеся на один поезд. Белые точки - I период (2009-2012 гг.), черные точки - II период (2013-2015 гг.).

По результатам регрессионного анализа исходных параметров для распределения периода 2013-2015 гг. получена зависимость между потерями поездочасов и размерами движения следующего вида:

$$P_{св\ гр}^I(II) = 0,0119 \cdot e^{0,1109n} \quad (6.9)$$

Эффективность мероприятий можно оценить разницей значений двух функций (5,4) и (5.9):

$$\Delta P_{св\ гр}^I = P_{св\ гр}^I(I) - P_{св\ гр}^I(II) \quad (6.10)$$

При значениях $\Delta P_{св\ гр}^I > 0$ – внедряемые мероприятия приносят положительный эффект по сокращению потерь поездочасов, при $\Delta P_{св\ гр}^I \leq 0$ – положительного эффекта нет.

Проведем расчеты:

для 55 поездов $\Delta P_{св\ гр}^I = 6,83 - 5,3 = 1,53$ поездочаса;

для 65 поездов $\Delta P_{св\ гр}^I = 29,26 - 16,08 = 13,18$ поездочаса.

Расчеты $\Delta P_{св\ гр}^I$ в пределах от 50 до 80 поездов сведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5

Параметры $\Delta \Pi^I_{св гр}$ при изменении n

n	$\Delta \Pi^I_{св гр}$	n	$\Delta \Pi^I_{св гр}$	n	$\Delta \Pi^I_{св гр}$	n	$\Delta \Pi^I_{св гр}$	n	$\Delta \Pi^I_{св гр}$	n	$\Delta \Pi^I_{св гр}$
50	0,26	55	1,53	60	4,91	65	13,18	70	32,54	75	76,50
51	0,42	56	1,98	61	6,04	66	15,88	71	38,73	76	90,38
52	0,62	57	2,52	62	7,39	67	19,07	72	46,02	77	106,67
53	0,86	58	3,18	63	9,00	68	22,84	73	54,59	78	125,74
54	1,16	59	3,96	64	10,91	69	27,29	74	64,67	79	148,09
										80	174,24

На основании вышеизложенного строим полученные кривые зависимостей (см. рисунок 6.7) с указанием параметра $\Delta \Pi^I_{св гр}$.

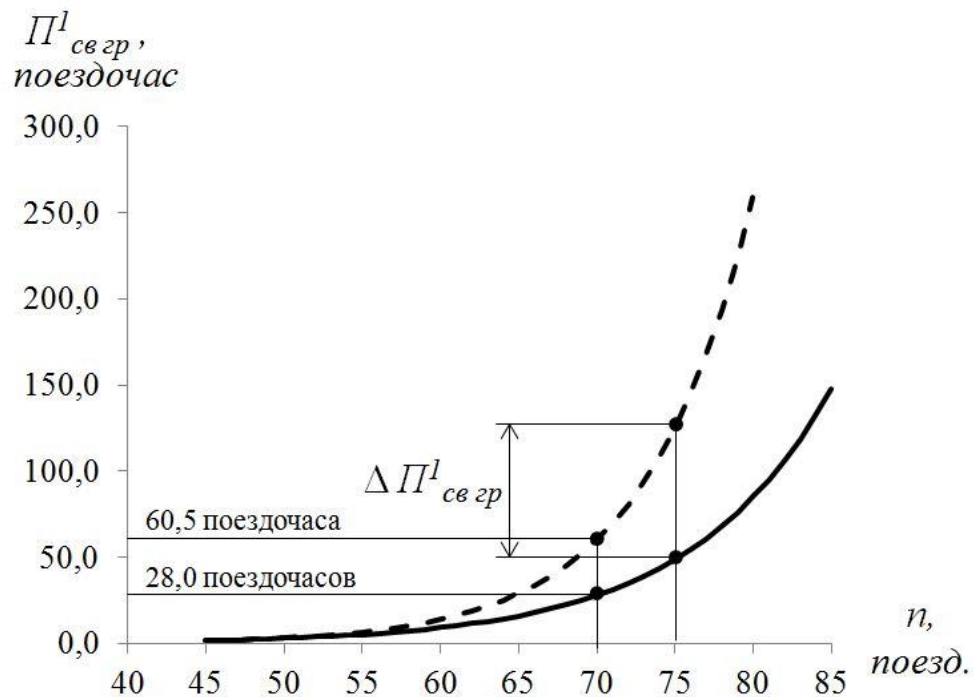


Рисунок 6.7. Зависимость потерь поездочасов от размеров движения
 - - - - I период (с 2009 по 2012 гг.);
 ————— II период (с 2013 по 2015 гг.).

Штриховой линией показана зависимость (6.4), характерная для I периода, сплошной линией — зависимость (6.9) II периода. В период с 2009 по 2012 гг. при увеличении размеров движения до 70 поездов среднесуточные потери при пропуске одного поезда составили 60,5 поездочаса, проведенные на дороге мероприятия позволяют пропускать аналогичное количество поездов с

сокращением потерь практически в два раза (28,0 поездочасов). То есть по полученным положительным значениям параметра $\Delta \Pi_{св\ гр}^l$ можно сделать вывод, что внедряемые мероприятия по стабилизации перевозочного процесса в период с 2013 по 2015 гг. были эффективны и привели к сокращению потерь поездочасов.

Экономическую оценку эффективности внедряемых мероприятий по стабилизации перевозочного процесса за счет экономии затрат, приходящихся на одну пару поездов, определяем соотношением:

$$\Delta \mathcal{E}_{nom} = \Delta \Pi_{св\ гр}^l \cdot e_{пч} \quad (6.11)$$

Проведем расчеты:

для 55 поездов $\Delta \mathcal{E}_{nom} = 1,53 \cdot 2913,16 = 4\,457,64$ руб.;

для 65 поездов $\Delta \mathcal{E}_{nom} = 13,18 \cdot 2913,16 = 38\,395,45$ руб.

для 75 поездов $\Delta \mathcal{E}_{nom} = 76,50 \cdot 2913,16 = 222\,844,5$ руб.

Расчеты по параметру $\Delta \mathcal{E}_{nom}$ в пределах от 50 до 80 поездов сведем в таблицу 6.6.

Таблица 6.6

Экономия затрат $\Delta \mathcal{E}_{nom}$, приходящаяся на одну пару поездов,
при изменении n

n	$\Delta \mathcal{E}_{nom}$ тыс. руб.	n	$\Delta \mathcal{E}_{nom}$ тыс. руб.	n	$\Delta \mathcal{E}_{nom}$ тыс. руб.
50	752,20	60	14 300,92	70	94 802,06
51	1 217,91	61	17 593,92	71	112 836,46
52	1 797,32	62	21 526,01	72	134 068,31
53	2 513,01	63	26 211,70	73	159 042,01
54	3 391,66	64	31 785,15	74	188 392,31
55	4 464,74	65	38 403,42	75	222 859,06
56	5 769,36	66	46 250,25	76	263 304,35
57	7 349,21	67	55 540,53	77	310 732,37
58	9 255,71	68	66 525,43	78	366 312,52
59	11 549,29	69	79 498,38	79	431 406,18
				80	507 597,84

Годовая экономия затрат определяется по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{пот год}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{ном}} \cdot n \cdot 365 \quad (6.12)$$

Проведем расчеты с округлением до млн. руб.:

для 55 поездов $\Delta \mathcal{E}_{\text{пот год}} = 4464,74 \cdot 55 \cdot 365 = 89,63$ млн. руб.;

для 60 поездов $\Delta \mathcal{E}_{\text{пот год}} = 14300,92 \cdot 60 \cdot 365 = 313,19$ млн. руб.;

для 65 поездов $\Delta \mathcal{E}_{\text{пот год}} = 38403,42 \cdot 65 \cdot 365 = 911,121$ млн. руб.;

для 70 поездов $\Delta \mathcal{E}_{\text{пот год}} = 94802,06 \cdot 70 \cdot 365 = 2422,193$ млн. руб.;

для 75 поездов $\Delta \mathcal{E}_{\text{пот год}} = 222859,06 \cdot 75 \cdot 365 = 6100,769$ млн. руб.

По результатам проведённых исследований экономических потерь в зависимости от количества поездов, пропускаемых через дорогу, можно сделать выводы, что проводимая работа по стабилизации перевозочного процесса в границах Забайкальской железной дороги, в том числе за счет апробации методов, разработанных в ходе данного диссертационного исследования, привела к положительным результатам. Так годовая оценка эффекта сокращения потерь составляет при пропуске 65 грузовых поездов порядка 911 млн. рублей, 70 грузовых поездов – 2 млрд. 422 млн. рублей.

В подтверждение вышеизложенных исследований и расчетов на рисунке 6.8 показаны годовые параметры фонда оплаты труда локомотивных бригад на Забайкальской дороге с 2009 по 2015 гг. с корректировкой на величину индексации заработной платы в данном периоде. Изменение участковой скорости и потерь поездочасов существенно влияет на выполнение пробегных норм и, соответственно, на потребность в локомотивных бригадах и сверхурочные часы работы, что напрямую влияет на емкость фонда оплаты труда. С ростом размеров движения затраты на локомотивные бригады растут нелинейно, так в 2009 году пропуск одной пары грузовых поездов в год обходился в 91,3 млн. руб., то в 2015 г. уже 121,3 млн.руб. При этом следует отметить, что наибольший прирост в фонде оплаты произошел в период с 2009 по 2012 гг. Размеры движения увеличились с 2009 по 2012 гг. на 10,7%, фонд оплаты – на 44%, с 2012 по 2015 гг. рост приема поездов составил 9,7%, затраты на локомотивные бригады увеличились на 11,9%.

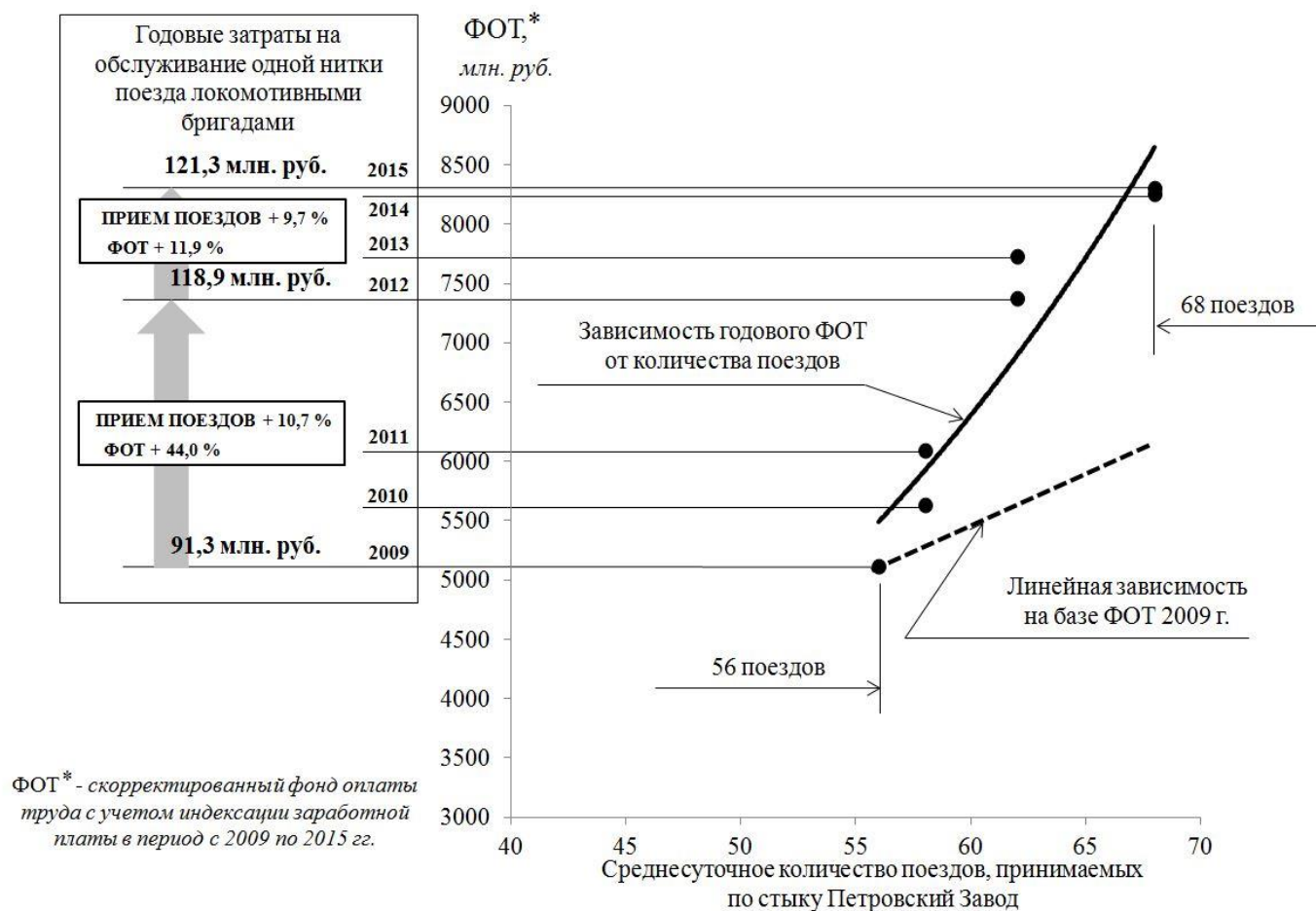


Рисунок 6.8. Распределение годового ФОТ локомотивных бригад и среднесуточного приема грузовых поездов по стыку Петровский Завод (2009-2015 гг.)

Выводы по главе 6

Эффективным способом оценки принимаемых мер технического, технологического, организационного и инвестиционного характера по улучшению количественных и качественных параметров работы железнодорожного направления может служить анализ потерь поездочасов, существенно зависящий от параметров поездопотока, от числа действующих приемоотправочных путей технических станций и времени их занятия транзитными поездами.

Применение методики оценки показателей эксплуатационных расходов с помощью единичных расходных ставок показывает, что финансовые потери от увеличения поездочасов при рассогласовании пропускной способности станции

Карымская и четного направления Петровский Завод - Карымская при размерах движения грузовых поездов 65 пар, числе станционных путей равному 13, времени занятия пути на уровне 4 часов, могут достигать двух миллиардов рублей.

Статистический анализ изменения эксплуатационных расходов на направлении при реализации технических и технологических мероприятий (увеличение парка локомотивов, изменение технологических процессов работы технических станций, Пунктов технического обслуживания локомотивов, совершенствование методов диспетчерского руководства, организация вождения соединенных поездов и т.д.) показал, что при росте размеров движения в периоде с 2013 по 2015 гг. достигнута экономия эксплуатационных расходов относительно удельных затрат на пропуск поездопотоков периода с 2009 по 2012 г.

Рассмотренные подходы могут быть использованы:

- для получения показателей эксплуатационных расходов в зависимости от прогнозных размеров движения;
- для определения технико-экономических эффектов при оценке инвестиционных проектов до и после их реализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения исследований по теме диссертационной работы получены следующие научные результаты:

1. Разработана методика, позволяющая определять участки грузонапряженных линий, на которых замедляется продвижение грузовых поездопотоков. Методика основывается на статистическом анализе изменений участковых скоростей движения грузовых поездов в течение представленных временных отрезков на всех участках линии между техническими станциями. Применение методики на Забайкальской железной дороге позволило установить и ранжировать участки с затрудненным пропуском грузовых поездов.

2. Систематизированы факторы, определяющие стабильность поездной работы, на основе исследования процессов взаимодействия железнодорожных станций и направлений крупного грузонапряженного полигона железнодорожной сети. Установлены основные факторы, влияющие на стабильное продвижение поездопотока на грузонапряженных линиях: размеры движения, баланс локомотивов на станции смены локомотивов, фактор «сезонности» - зима, лето.

3. Установлено, что пропускная способность технической станции, технологией работы которой предусмотрена смена локомотивов у грузовых поездов, зависит от обеспечения вывоза поездов рассматриваемого направления локомотивами, прибывающими на станцию с поездами или резервом с другого направления. Снижение пропускной способности станции происходит из-за увеличения времени занятости приемоотправочных путей, существенно превышающим нормативы, что связано с ожиданием составами локомотивов.

4. На основе статистического анализа получено устойчивое соотношение между размерами движения и суточным балансом числа локомотивов на станции их смены. Установлено, что для беспрепятственного пропуска четного потока поездов от 55 до 70 поездов в среднем в сутки через станцию смены локомотивов требуется 8 резервных локомотивов.

5. Разработана математическая модель, позволяющая оценивать участковую скорость движения поездов на участке, прилегающем к ограничивающей по пропускной способности станции, в зависимости от размеров движения грузового потока поездов, количества приемоотправочных путей и времени их занятия транзитными поездами, величин межпоездных интервалов при пропуске грузовых поездов. С помощью предлагаемой модели могут решаться задачи: гармоничного выбора определенного соотношения между названными параметрами для устойчивой реализации установленного значения участковой скорости; определения параметра, отклонения которого от нормы в наибольшей степени влияют на уменьшение участковой скорости. Аналитическая оценка максимальной пропускной способности станции Карымская в четном направлении с использованием экспериментального параметра – времени занятия приемоотправочных путей достаточно точно согласуется со статистически определенной величиной.

6. С учетом существенного влияния времени ожидания готовыми составами локомотивов на общее время занятости приемоотправочных путей оценено влияние продолжительности обслуживания локомотивов, прибывающих с восточного участка, на пунктах технического обслуживания (ПТОЛ) с учетом их технического и технологического оснащения. На примере станции Карымская, установлена целесообразность увеличения числа стойл для текущего обслуживания локомотивов на данной станции и рациональное их количество.

7. Оценен ряд управленческих решений важных при реализации ключевого элемента полигонной технологии – процесса управления тяговыми ресурсами с выбором из них наиболее эффективных в зависимости от конкретно решаемых задач и ресурсного обеспечения пропуска поездопотоков. На этой основе выработаны рекомендации для Центра управления тяговыми ресурсами Восточного полигона сети по управлению локомотивным парком.

8. Выполнена экономическая оценка мероприятий, направленных на повышение участковой скорости, основанная на сравнении реализованных на участке поездоочасов с поездоочасами, предусмотренными нормативным графиком

движения поездов. Получена зависимость дополнительных затрат поездочасов от размеров движения и степень эффективности принимаемых мер по стабилизации перевозочного процесса. Полученные в работе соотношения могут быть использованы при оценке экономической эффективности организационно-технологических мероприятий и инвестиционных проектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, А.А. Управление эксплуатационной работой: Ч. II. График движения поездов и пропускная способность [Текст]: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / А.А. Абрамов. – М.:РГОТУПС, 2002. – 171 с.
2. Айзиндуд, С.Я. Эксплуатация локомотивов [Текст] / С.Я. Айзиндуд, П.И. Кельперис. – М.: Транспорт, 1980. – 248 с.
3. Аксенов, В.И. Технический план и емкость путевого развития [Текст] / В.И. Аксенов // Железнодорожный транспорт. – 1988. – № 7. – С. 23-25.
4. Акулиничев, В.М., Математические методы в эксплуатации железных дорог [Текст]: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.М. Акулиничев, В.А. Кудрявцев, А.Н. Корешков. М.: Транспорт. 1981. – 223 с.
5. Апатцев, В.И. Железнодорожные станции и узлы [Текст]: Учебник для вузов / В.И. Апатцев и др.; Под ред. В.И. Апатцева и Ю.И. Ефименко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 855 с.
6. Архангельский, Е.В. Определение необходимых резервов производственной мощности станций [Текст] / Е.В. Архангельский // Вестник ВНИИЖТ. – 1985. – № 3. – С. 6-9.
7. Баранов, А.Л. Управление тяговыми ресурсами на Восточном полигоне [Текст]/ А.Л. Баранов // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 6. – С. 25-31.
8. Баранов, А.М. Развитие пропускной и провозной способностей однопутных линий [Текст] / А.М. Баранов, В.Е. Козлов, Э.Д. Фельдман // Труды ВНИИЖТ. – 1964. – Вып. 280. – 194 с.
9. Батурин, А.П. Комплексное решение задачи распределения грузопотоков и усиления пропускной способности линий полигона [Текст] / А.П. Батурин // Труды МИИТ. – 1976. – Вып. 537. – С. 16-35.
10. Батурин, А.П. Расчет среднего веса поезда [Текст] / А.П. Батурин // Мир транспорта. – 2014. – № 3 – С. 6-13.

11. Батурин, А.П. Оптимальная системы прокладки сборных поездов [Текст] / А.П. Батурин, П.В. Никитин // Мир транспорта. – 2013. – № 3. – С. 128-134.
12. Батурин, А.П. Интеллектуальное управление работой станции [Текст] / А.П. Батурин, А.С. Гершвальд // Мир транспорта. – 2012. – № 5. – С. 48-53.
13. Белецкий, А.Н. Перевозочному процессу – высокую ритмичность [Текст] / А.Н. Белецкий // Железнодорожный транспорт. – 1984. – № 12. – С. 17-21.
14. Бернгард, К.А. Комплексная оценка развития пропускной и провозной способности сети железных дорог [Текст] / К.А. Бернгард, Э.Д. Фельдман // Вестник ВНИИЖТ. – 1983. – № 4. – С. 1-4.
15. Бородин, А.Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений [Текст] / А.Ф. Бородин // Труды ВНИИАС. – 2008 г. – Вып. 6. – 320 с.
16. Бородин, А.Ф. Емкость железных дорог и управление вагонными парками [Текст] / А.Ф. Бородин // РЖД-Партнер. – 2011. – № 5. – С. 32-34.
17. Бородин, А.Ф. Информационно-управляющие системы в Едином сетевом технологическом процессе железнодорожных грузовых перевозок [Текст] / А.Ф. Бородин // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». – 2012. – № 4. – С. 8-15.
18. Бородин, А.Ф. Технологическое обеспечение перевозочного процесса [Текст] / А.Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 3. – С. 33-36.
19. Бородин, А.Ф. О научной поддержке перехода на новую технологию управления движением по расписанию на опытных полигонах [Текст] / А.Ф. Бородин, В.В. Панин // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». – 2014. – № 1. С. 7-15.
20. Бородин, А.Ф. Основные положения новой системы организации перевозок [Текст] / А.Ф. Бородин, Е.В. Прилепин // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 11. – С. 40-49.
21. Бочков, Ю.В. Интенсификация работы крупных узлов [Текст] / Ю.В. Бочков, И.М. Гомоляко, И.Н. Шапкин // Железнодорожный транспорт. – 1988. – № 10. – С. 14-18.
22. Васин, М.Ф. Интервальный пропуск поездов [Текст] / М.Ф. Васин, В.И. Некрашевич // Железнодорожный транспорт. – 1988. – № 8. – С. 14-15.

23. Векуа, Ш.М. Особенности расчета потребного парка локомотивов в условиях стабилизации грузового движения [Текст] / Ш.М. Векуа, В.И. Некрашевич, Д.В. Максимов // Вестник ВНИИЖТ. – 1984. – № 1. – С. 15-19.
24. Власенский, А.А. Перспективы внедрения полигонных моделей использования локомотивной тяги [Текст] / А.А. Власенский // Локомотив. – 2015. – № 5. – С. 2-6.
25. Власенский, А.А. Новая структура управления тяговыми ресурсами [Текст] / А.А. Власенский // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 3. – С. 30-35.
26. Воробьев Н.А. Задачи ученых транспорта в области эксплуатации железных дорог [Текст] / Н.А. Воробьев // Вестник ВНИИЖТ. – 1978. – № 4. – С. 1-6.
27. Грунтов, П.С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст]: Учебник для вузов / П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А.М. Макаровичкин и др.; под редакцией П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с.
28. Дейнега, Н.С. Рациональные способы увеличения пропускной способности [Текст] / Н.С. Дейнега, А.А. Сарана // Железнодорожный транспорт. – 1972. – № 12. – С. 58-61.
29. Железнов, Д.В. Методология усиления провозной способности железных дорог России в условиях реформы отрасли [Текст] / Д.В. Железнов. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Москва, 2013. – 48 с.
30. Железнодорожные станции и узлы [Текст]: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / В.Г. Шубко, Н.В. Правдин, Е.В. Архангельский, В.Я. Болотный, В.А. Бураков, С.П. Вакуленко, В.А. Персианов; под ред. В.Г. Шубко и Н.В. Правдина. – М.: УМК МПС России, 2002. – 368 с.
31. Иванов, П.А. Организация перевозочного процесса в условиях роста объемов на лимитирующих направлениях [Текст] / П.А. Иванов // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 3. – С. 11-15.
32. Ивницкий, В.А. Надежность технических средств железнодорожного транспорта и ее связь с пропускной способностью направлений [Текст] / Ивницкий В.А. // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 1 – С. 6-10.

33. Ивницкий, В.А. Определение минимального интервала между поездами на модели двухпутного участка [Текст] / В.А. Ивницкий, И.Б. Бондарева, В.Г. Панов // Вестник ВНИИЖТ. – 1986. – № 7. – С. 7-11.
34. Издержки и себестоимость железнодорожных перевозок [Текст]: Учебное пособие / Н.Г. Смехова и др.; под ред. Н.Г. Смеховой и Ю.Н. Кожевникова. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 472 с.
35. Имитационное моделирование в задачах организации движения поездов [Текст]: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / Л.А. Мугинштейн и др.; под ред. Л.А. Мугинштейна. – М.: Интекст, 2012. 56 с.
36. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог [Текст]: утв. ОАО «РЖД», 2010. 289 с.
37. Капустин, Н.И. Эксплуатация грузовых локомотивов на укрупненных полигонах [Текст] / Н.И. Капустин // Железнодорожный транспорт. – 2005. – № 5. – С. 20-26.
38. Каретников, А.Д. Повышение роли графика движения поездов как технологической основы эксплуатационной работы [Текст] / А.Д. Каретников, В.Е. Козлов // Железнодорожный транспорт. – 1972. – № 4. – С. 5-9.
39. Кельперис, П.И. Пути повышения участковой скорости движения поездов [Текст] / П.И. Кельперис, И.П. Исаев, В.Т. Стрельников // Железнодорожный транспорт. – 1984. – № 9. – С. 46-49.
40. Климанов, В.С. Об эффективности регулировочных мероприятий в условиях насыщения дорог поездопотоком [Текст] / В.С. Климанов // Вестник ВНИИЖТ. – 1984. – № 4. – С. 5-8.
41. Козлов, В.Е. Пропускная способность железнодорожных линий и надежность технических устройств [Текст] / В.Е. Козлов // Вестник ВНИИЖТ. – 1979. – № 4. – С. 1-6.
42. Козлов, П.А. Ориентироваться на гибкие многовариантные технологии [Текст] / П.А. Козлов // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 3. – С. 49-50.

43. Козлов П.А. Оценка схемных и технологических решений в проектах развития железнодорожных станций и узлов [Текст] / П.А. Козлов, И.М. Яриков // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 12. – С. 57-58.
44. Комплексная интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию [Текст]: утв. ОАО «РЖД», 2012. 481 с.
45. Котляренко, Ф.М. Маршрутная система эксплуатации локомотивов на больших полигонах [Текст] / Ф.М. Котляренко, И.М. Косиков, Г.Н. Кегелес // Железнодорожный транспорт. – 1982. – № 5 – С. 10-13.
46. Кремнев, А.А. Экономическая оценка вариантов организации работы парка локомотивов на объединенных участках обращения [Текст] / А.А. Кремнев – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Самара, 2008. – 24 с.
47. Кудрявцев, В.А. Управление движением на железнодорожном транспорте [Текст]: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.А. Кудрявцев. – М.: Маршрут, 2003. – 200 с.
48. Кужель, А.Л. Роль графика движения поездов в рыночных условиях. [Текст] / А.Л. Кужель, И.Н. Шапкин, Е.М. Кожанов // Железнодорожный транспорт. – 2007. – № 7. – С. 33-36.
49. Кухарькова, Т.В. Исследование надежности работы двухпутного участка [Текст] / Т.В. Кухарькова // Вестник ВНИИЖТ. – 1986. – № 3. – С. 10-13.
50. Лангер, Ю.М. Совершенствовать анализ эксплуатационной деятельности железных дорог [Текст] / Ю.М. Лангер // Вестник ВНИИЖТ. – 1984. – № 4. – С. 1-4.
51. Лapidус, Б.М. Приоритетные направления мировой железнодорожной науки [Текст] / Б.М. Лapidус // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 11. – С. 10-13.
52. Левин, Д.Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом [Текст]: Учебное пособие / Д.Ю. Левин. – М.: Маршрут, 2005. – 760 с.
53. Левин, Д.Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом [Текст]: Монография / Д.Ю. Левин. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 625 с.

54. Левин, Д.Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д.Ю. Левин. – М.: Транспорт, 1988. – 175 с.
55. Левин, Д.Ю. Расчет и использование пропускной способности железных дорог [Текст]: Монография / Д.Ю. Левин, В.Л. Павлов. – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 364 с.
56. Левин, Д.Ю. Что необходимо для выполнения графика [Текст] / Д.Ю. Левин, А.Х. Зо, В.Н. Шмаль // Мир транспорта. – 2013. – № 1. – С. 110-119.
57. Макаровичин, А.М. Повышение пропускной способности железных дорог [Текст] / А.М. Макаровичин, Ю.В. Дьяков. – М.: Знание, 1975. – 64 с.
58. Макаровичин, А.М. Использование и развитие пропускных способностей железных дорог [Текст] / А.М. Макаровичин, Ю.В. Дьяков. – М.: Транспорт, 1981. – 287 с.
59. Математическая статистика [Текст]: Учебник для техникумов / Под ред. А.М. Дина. - М.: «Высшая школа», 1975. – 398 с.
60. Максимов В.Ф. Организация движения в сложной эксплуатационной обстановке [Текст] / Максимов В.Ф., Дмитриенко А.В. // Железнодорожный транспорт. – 1988. – № 7. – С. 20-23.
61. Масса, длина и скорость движения грузовых поездов [Текст]: Учебное пособие / В.П. Могилла. - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2002. – 200 с.
62. Методика классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД» [Текст]: утв. ОАО «РЖД», 2015. – 75 с.
63. Методика расчета единичных и укрупненных расходных ставок в условиях структурной реформы ОАО «РЖД» [Текст]: утв. ОАО «РЖД», 2009. – 40 с.
64. Мехедов, М.И. Повышение эффективности управления и использование локомотивного парка в условиях насыщения пропускных способностей [Текст] / М.И. Мехедов // Проблемы проектирования и строительства железных дорог: сборник научных трудов под ред. В.С. Шварцфельда. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011. – С. 137-149.

65. Мехедов, М.И. Технология как искусство мыслить [Текст] / М.И. Мехедов // Курсом модернизации. – 2012. – № 8. – С. 15-17.
66. Мехедов М.И. Особенности работы станций смены локомотивов на примере станции Карымская Забайкальской железной дороги [Текст] / Мехедов М.И. // Организация безопасности на транспорте: межвузовский сборник научно-методических трудов, отв. ред. Л.В. Виноградова. – Чита: Изд-во ЗаБИЖТ, 2015. – С. 112-126.
67. Мехедов М.И. О проблемах организации движения и эффективности использования пропускных способностей станции [Текст] / М.И. Мехедов, Л.А. Мугинштейн // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 7. – С. 20-27.
68. Могила, В.П. Нормирование массы и длины грузовых поездов [Текст] / В.П. Могила, Ю.Ю. Калинина // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 12. – С. 24-27.
69. Морозов, В.Н. Транссиб – национальная магистраль международного значения [Текст] / В.Н. Морозов // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 11 – С. 6-9.
70. Мугинштейн, Л.А. Техническое и эксплуатационное обеспечение движения тяжеловесных поездов [Текст] / Л.А. Мугинштейн // Железнодорожный транспорт. – 2005. – № 2. – С. 61-63.
71. Мугинштейн, Л.А. Нестационарные режимы тяги (Сцепление. Критическая норма массы поезда) [Текст] / Л.А. Мугинштейн, А.Л. Лисицин. – М.: Интекст, 1996. – 176 с.
72. Мугинштейн, Л.А. Методические подходы к выявлению факторов, влияющих на стабильность пропуска поездопотоков [Текст] / Л.А. Мугинштейн, М.И. Мехедов // Вестник ВНИИЖТ. – 2014. – № 2. – С. 24-32.
73. Мугинштейн, Л.А. Вопросы организации стабильного пропуска транзитных грузовых поездов на направлениях железных дорог с учетом технических и технологических особенностей работы технических станций и перегонов [Текст] / Л.А. Мугинштейн, М.И. Мехедов // Вестник ВНИИЖТ. – 2016. – № 1. – С. 3-11.

74. Мугинштейн, Л.А. Развитие тяжеловесного движения грузовых поездов [Текст]: Монография / Л.А. Мугинштейн, К.П. Шенфельд. – М.: Интекс, 2011. – 76 с.
75. Некрашевич, В.И. Использование поездных локомотивов в грузовом движении [Текст] / В.И. Некрашевич. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 270 с.
76. Некрашевич, В.И. Влияние группового графика оборота локомотивов на показатели их использования [Текст] / В.И. Некрашевич // Вестник ВНИИЖТ. – 2006. – № 2. – С. 23-27.
77. Некрашевич, В.И. Управление эксплуатацией локомотивов [Текст]: Учебное пособие / В.И. Некрашевич, В.И. Апатцев – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: МИИТ, 2009. – 296 с.
78. Некрашевич, В.И. Методические подходы к прогнозированию качественных показателей использования локомотивов грузового движения [Текст] / В.И. Некрашевич, В.Н. Ковалев, В.Л. Сальченко // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 3. – С. 21-28.
79. Некрашевич, В.И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивов грузового движения в условиях автоматизации [Текст] / В.И. Некрашевич, А.И. Моргунов // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – № 3. – С. 20-25.
80. Некрашевич, В.И. Поездная работа при постоянных размерах грузового движения и нефиксированной массе и длине составов [Текст] / В.И. Некрашевич, В.Е. Козлов, В.И. Бодюл, А.Ф. Бородин // Вестник ВНИИЖТ. – 1991. – № 8. – С. 12-17.
81. Никифоров, Б.Д. Управление поездной работой на направлении [Текст] / Б.Д. Никифоров, Е.М. Тишкин, В.М. Макаров, В.С. Климанов // Железнодорожный транспорт. – 1982. – № 2 – С. 17-24.
82. Осьминин, А.Т. О новом подходе к нормированию перевозок [Текст] / А.Т. Осьминин, Р.В. Баскин, Л.А. Осьминин // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 8 – С. 44-48.

83. Пазойский, Ю.О. Удельный вес типобразующих операций [Текст] / Ю.О. Пазойский, А.П. Батулин, С.О. Шатских // Мир транспорта. – 2012. – № 5. – С. 48-53.
84. Пазойский, Ю.О. Типизация железнодорожных станций [Текст] / Ю.О. Пазойский, А.П. Батулин, М.И. Шмулевич // Мир транспорта. – 2011. – № 5. – С. 112-119.
85. Правдин, Н.В. Железнодорожные станции и узлы [Текст] / Н.В. Правдин, Т.С. Банек, В.Я. Негрей и др.; под редакцией Н.В. Правдина. – М.: Транспорт, 1984. – 296 с.
86. Пехтерев, Ф.С. Освоение объемов перевозок на Восточном полигоне до 2020 г. [Текст] / Ф.С. Пехтерев // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 3 – С. 5-10.
87. Плахотич, С.А. Техничко-технологические параметры железнодорожных направлений в условиях параллельных норм массы и длины грузовых поездов: [Текст]: Монография / С.А. Плахотич. – Екатеринбург: УРГУПС, 2011. – 172 с.
88. Савченко, И.Е. Железнодорожные станции и узлы [Текст]: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / И.Е. Савченко, С.В. Земблинов, И.И. Страковский; Под редакцией В.М. Акулиничева, Н.Н. Шабалина - 4-ое изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт. 1980. – 479 с.
89. Сайбаталов, Р.Ф. Вагонный парк, инфраструктуру и управление движением к общему знаменателю [Текст] / Р.Ф. Сайбаталов, А.Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 11. – С. 26-34.
90. Свириденко, А.А. Эффективность передовой технологии [Текст] / А.А. Свириденко, Е.Г. Смотров // Железнодорожный транспорт. – 1972. – № 12. – С. 54-57.
91. Скалов, К.Ю. Условия постоянного обращения соединенных поездов [Текст] / К.Ю. Скалов // Железнодорожный транспорт. – 1975. – № 5. – С. 27-30.
92. Сотников, Е.А. История и перспективы мирового и российского железнодорожного транспорта (1800 - 2100 гг.) [Текст] / Е.А. Сотников. – М.: Интекс, 2005. – 112 с.

93. Сотников, Е.А. Определение эффективности сооружения резервных станций на загруженных линиях [Текст] / Е.А. Сотников, Р.В. Лолуа // Вестник ВНИИЖТ. – 1983. – № 6. – С. 4-9.
94. Сотников, Е.А. Методика расчета организации вагонопотоков [Текст] / Е.А. Сотников, А.В. Кутыркин, Д.Ю. Левин, В.И. Васильев // Железнодорожный транспорт. – 1982. – № 4. – С. 13-17.
95. Сотников, Е.А. Рационально использовать путевое развитие станций и участков [Текст] / Е.А. Сотников, Ф.В. Бахадиров, Р.С. Мильман // Железнодорожный транспорт. – 1984. – № 7. – С. 45-47.
96. Сотников, Е.А. О техническом нормировании качественных показателей работы железных дорог [Текст] / Е.А. Сотников, В.И. Суржина // Вестник ВНИИЖТ. – 1980. – № 1. – С. 4-7.
97. Сотников, И.Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог [Текст]: Монография / И.Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1976. – 268 с.
98. Сотников, И.Б. Оптимальное соотношение емкости станционных путей и рабочего парка вагонов [Текст] / И.Б. Сотников, А.А. Выгнанов, Р.И. Шарипова // Железнодорожный транспорт. – 1982. – № 6 – С. 29-31.
99. Тулупов, Л.П. Управление перевозками на участках и направлениях [Текст] / Л.П. Тулупов // Железнодорожный транспорт. – 2003. – № 4. – С. 50-54.
100. Фельдман, Э.Д. Эффективность применения кратной тяги поездов на грузонапряженных магистралях [Текст] / Э.Д. Фельдман // Вестник ВНИИЖТ. – 1981. – № 7. – С. 1-4.
101. Фельдман, Э.Д. Рациональные сроки развития пропускной способности железных дорог [Текст] / Э.Д. Фельдман, В.Е. Козлов, Л.А. Канарская // Вестник ВНИИЖТ. – 1978. – № 7. – С. 1-6.
102. Фельдман, Э.Д. Этапное увеличение пропускной и провозной способности однопутных линий [Текст] / Э.Д. Фельдман, А.М. Баранов, В.Е. Козлов // Вестник ВНИИЖТ. – 1963. – № 6. – С. 43-46.
103. Чернов, Г.И. Условия повышения ритмичности работы дороги [Текст] / Г.И. Чернов // Железнодорожный транспорт. – 1972. – № 12. – С. 61-64.

104. Чернов, Г.И. Опыт интенсификации использования пропускной и провозной способности магистрали [Текст] / Г.И. Чернов // Железнодорожный транспорт. – 1973. – № 7. – С. 11-17.
105. Чернов, Г.И. Движение с минимальными интервалами [Текст] / Г.И. Чернов // Железнодорожный транспорт. – 1988. – № 4. – С. 40-42.
106. Чернюгов, А.Д. Новое в расчете пропускной способности железных дорог [Текст] / А.Д. Чернюгов // Вестник ВНИИЖТ. – 1980. – № 1. – С. 1-7.
107. Шапкин, И.Н. Организация железнодорожных перевозок на основе дискретных методов управления и твердого графика движения поездов [Текст] / И.Н. Шапкин // Транспорт. – 2008. – № 11. – С. 14-19.
108. Шапкин, И.Н. На основе взаимодействия графика движения и плана формирования поездов [Текст] / И.Н. Шапкин, А.Л. Кужель, А.Н. Вдовин // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 9 – С. 11-15.
109. Шапкин, И.Н. Твердый подекадный график движения грузовых поездов как одно из решений проблемы адаптации графика к колебаниям вагонопотоков [Текст] / И.Н. Шапкин, Е.М. Кожанов // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 3. – С. 30-33.
110. Шапкин, И.Н. Научное обеспечение инновационного управления работой железнодорожных направлений в условиях применения твердого графика движения поездов [Текст] / И.Н. Шапкин, Е.М. Кожанов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – № 10 – С. 4-11.
111. Шапкин, И.Н. О переходе к технологии организации движения поездов по расписанию. [Текст] / И.Н. Шапкин, И.М. Самойлова // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 3. – С. 14-17.
112. Шаров, В.А. Расписание для грузовых поездов [Текст] / В.А. Шаров // Международный экспедитор. – 2011. – № 2. – С. 18-24.
113. Шаров, В. А. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов [Текст] / В. А. Шаров // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 6. – С. 16-20.

114. Шаров, В.А. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию [Текст] / В.А. Шаров, А.Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 8. – С. 11-22.
115. Шварцфельд, В.С. Этапное наращивание мощности сети [Текст] / В.С. Шварцфельд // Железнодорожный транспорт. – 1984. – № 12. – С. 60-63.
116. Шенфельд, К.П. О показателях качества организации перевозочного процесса [Текст] / К.П. Шенфельд // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3 – С. 64-67.
117. Экономика железнодорожного транспорта. Проблемы и решения [Текст]: сб. трудов ВНИИЖТ / под ред. Л. А. Мазо и Г. Е. Писаревского. – М.: Интекст, 2005. 351 с.