

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Днепропетровский национальный университет железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна
Кафедра «Транспортные узлы»

НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА МАСТЕРСТВА И ПРОФЕССИЙ
CNAM, ФРАНЦИЯ

«К ЗАЩИТЕ ДОПУЩЕНО»

Заведующий кафедрой:

к.т.н., доцент _____ Березовый Н. И.
(уч. звание, степень) (подпись) (ФИО)

« ____ » _____ 2020 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ДИПЛОМНОЙ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЕ
на получение УВО «магистр»

Направление 27 «Транспорт»

Специальность 273 «Железнодорожный транспорт»

Специализация «Интероперабельность и безопасность на железнодорожном
транспорте»

Тема Усовершенствование организации вагонопотоков с целью
повышения степени интероперабельности перевозки грузов

Выполнил:

ст.гр. 8-Интер

_____ (подпись)

Дяк А.В.

_____ (фамилия, имя, отчество)

Руководитель:

к.т.н., доцент

(уч. звание, степень)

_____ (подпись)

Мазуренко А. А.

_____ (фамилия и инициалы)

Днепр
2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Днепропетровский национальный университет железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна
Кафедра «Транспортные узлы»

НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА МАСТЕРСТВА И ПРОФЕССИЙ
CNAM, ФРАНЦИЯ

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой:

К.Т.Н., доцент _____ Березовый Н.И.
(уч. звание, степень) (подпись) (ФИО)

« ____ » _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ
НА ДИПЛОМНУЮ МАГИСТЕРСКУЮ РАБОТУ

Дяк Анна Викторовна
(ФИО)

- 1. Тема работы** Усовершенствование организации вагонопотоков с целью повышения степени интероперабельности перевозки грузов
- утверждено приказом по университету № 182ст от “ 27 ” “ 05 ” 2020
- 2. Срок подачи студентом законченной работы** 07 декабря 2020
- 3. Исходные данные для работы** Схема железнодорожного направления, технологические процессы работы технических станций

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Название раздела	Объем %	Количество слайдов
1. Исследование проблемы организации вагонопотоков на железнодорожном направлении	20	2
2. Анализ основных показателей организации вагонопотоков	15	4
3. Разработка технологии работы и определение продолжительности операций с двугруппными поездами на технических станциях	25	1
4. Методика определения эффективности оперативного формирования двугруппного поезда	15	1
5. Модель работы железнодорожного направления по организации вагонопотоков	15	1
6. Исследование и анализ эффективности использования двугруппных поездов	10	2

Студент _____ / Дяк А.В. /

Научный руководитель _____ / Мазуренко А.А. /

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ.....	8
1.1 Развитие теории организации вагонопотоков	8
1.2 Маршрутизация перевозок на железнодорожном транспорте	12
1.3 Оперативная организация вагонопотоков на железнодорожном направлении	19
1.4 Постановка задачи дипломной работы	24
2 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ.....	26
2.1 Анализ выполнения оборота вагона на дирекции	27
2.2 Анализ продолжительности нахождения вагона на технической станции	33
2.3 Анализ процесса накопления составов	35
3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИЙ С ДВУГРУППНЫМИ ПОЕЗДАМИ НА ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ.....	42
3.1 Техничко-эксплуатационная характеристика основных технических станций направления А-В-С	42
3.2 Организация вагонопотоков на железнодорожном направлении	45
4 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ДВУГРУППНОГО ПОЕЗДА.....	70
4.1 Критерий оценивания оперативного решения по формированию отдельного двугруппного поезда.....	70
4.2 Определение экономии вагоно-часов накопления вагонов при формировании двугруппных поездов на головной станции	73

					0042.196561.ДР.2020.000			
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата	Усовершенствование организации вагонопотоков с целью повышения степени интероперабельности перевозки грузов	Стадия	Лист	Листов
Разраб.	Дяк					Н	3	123
Руков.	Мазуренко					ДНУЖТ, 2020		
Зав. каф.	Березовый							

4.3 Определение экономии вагоно-часов накопления вагонов при выполнении обмена групп вагонов в двугруппном поезде	79
5 ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ В ПОЕЗДА.....	82
5.1 Структура имитационной модели железнодорожного направления.....	82
5.2 Функциональная модель работы технической станции	86
6 ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ДВУГРУППНЫХ ПОЕЗДОВ.....	94
6.1 Определение отдельных показателей ПФП при формировании поездов согласно существующей технологии организации вагонопотоков	96
6.2 Определение отдельных показателей и величины эффекта от оперативного управления поездобразованием	98
ВЫВОДЫ	106
БИБЛИОГРАФИЯ	109
СПИСОК РИСУНКОВ.....	114
СПИСОК ТАБЛИЦ	116
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ДИПЛОМНОЙ РАБОТЕ	117
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕНИЯ ОБОРОТА ВАГОНА.....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ В. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ВАРИАНТАМ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ ПРИ НАЛИЧИИ СМЕНЫ ПОЕЗДНОГО ЛОКОМОТИВА.....	119
АННОТАЦИЯ.....	123

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

АЗСР – система автоматического задания скорости роспуска;

ОГВ – отцепляемая группа вагонов;

ГАЦ – горочная автоматическая централизация;

ГВП – генератор входящего потока заявок;

ДСЦ – маневровый диспетчер;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

МВРП – механизированный вагоноремонтный пункт;

МОКЗН – модель оперативного управления поездобразованием на железнодорожном направлении;

МТК – международный транспортный коридор;

МТП – модель технологического процесса работы станции;

МПС – Министерство путей сообщения;

НАСК ВП УЗ – национальная автоматизированная система управления грузовыми перевозками Укрзализныци;

ПГВ – прицепляемая группа вагонов;

ПП – подъездной путь;

ПКО – пункт коммерческого осмотра;

ПТЭ – Правила технической эксплуатации железных дорог Украины;

ПТО – пункт технического осмотра;

ПФП – план формирования поездов;

СМО – система массового обслуживания;

СТЦ – станционный технологический центр;

ТП – технологический процесс работы станции;

ТРА – технико-распорядительный акт;

УЗ – Укрзализныця;

УТЛЦ – Украинский транспортно-логистический центр;

ФМН – функциональная модель железнодорожного направления;

ФМС – функциональная модель работы технической станции.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня украинские железные дороги непосредственно граничат и взаимодействуют с железными дорогами России, Беларуси, Молдовы, Польши, Румынии, Словакии, Венгрии, обеспечивают работу по 40 международным железнодорожным переходам, а также обслуживают 18 украинских морских портов Черноморско-Азовского бассейна. В Украине один из самых высоких коэффициентов транзитности в Европе. Приоритетное задание для Украины сегодня – это реализация своего транзитного потенциала как сухопутного моста между Европой и Азией. Для более полного решения данного вопроса необходимо обеспечить доставку грузов «от двери до двери».

В эксплуатации железных дорог Украины одной из основных задач есть рациональная организация вагонопотоков в поезда. Современная технология организации вагонопотоков в поезда должна обеспечить стабильное положение железных дорог на рынке транспортных услуг. При этом в первую очередь внимание должно уделяться гарантированному выполнению требований владельцев грузов к качеству перевозок, сокращения оборота вагонов, а также на сокращение расходов, связанных с поездобразованием.

Основу организации вагонопотоков составляет план формирования поездов, который включает в себя планы организации сквозных поездов между опорными техническими станциями железной дороги, местных поездов в районах местной работы и передаточных в узлах. Для перевозочного процесса характерно то, что мощность вагонопотоков и интенсивность их поступления на технические станции имеют существенные колебания. В связи с этим план формирования поездов выполняется в условиях отклонения фактических вагонопотоков от плановых. Нерациональная организация вагонопотоков является одной из основных причин невыполнения сроков доставки грузов, норм простоя вагонов на станциях и оборота вагона.

В условиях роста конкуренции в сфере перевозок грузов, для достижения более рационального и эффективного выполнения перевозочного процесса

возникает необходимость во внедрении новых технологических и эксплуатационных мероприятий. Одним из таких мероприятий, особенно в условиях уменьшения вагонопотока, является формирование групповых поездов из вагонов попутных назначений. Оперативная корректировка плана формирования поездов призвана устранять влияние неравномерности на эффективность организации вагонопотоков и способствует ускорению оборота вагонов. Кроме этого, данное мероприятие не требует значительных капитальных вложений и может быть применено на любом железнодорожном направлении без временной остановки его функционирования.

За счет усовершенствования системы организации вагонопотоков возможно значительное снижение эксплуатационных расходов железных дорог. Учитывая отсутствие средств на обновление материально-технической базы, такой подход является достаточно перспективным. В связи с этим в рамках работы предлагается исследование эффективности оперативного назначения групповых поездов с целью уменьшения эксплуатационных расходов железных дорог.

Принятие решения о целесообразности формирования групповых поездов должно базироваться на минимизации расходов. Это требует точных расчетов данных расходов с учетом основных влияющих факторов для возможности сравнения вариантов организации вагонопотоков и принятия правильного решения. Решение поставленной задачи должно охватывать одновременно все технические станции в пределах железнодорожного направления, размещение взаимодействующих станций и план формирования, что их связывает.

Целью работы является повышение степени интероперабельности перевозки грузов за счет усовершенствования организации вагонопотоков с использованием оперативного формирования двугруппных поездов.

Объектом исследования является процесс поездообразования.

Предметом исследования является технология организации вагонопотоков в поезда в оперативных условиях.

1 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ

1.1 Развитие теории организации вагонопотоков

Система организации вагонопотоков влияет на большинство качественных показателей эксплуатационной работы железных дорог. Именно поэтому основные принципы организации вагонопотоков должны базироваться на снижении расходов по продвижению вагонопотоков, накоплению составов, переработку вагонов на станциях.

Основой организации вагонопотоков является план формирования поездов (ПФП), который ориентирован на повышение доходов железных дорог за счет снижения эксплуатационных расходов. Комплексная разработка ПФП основывается на исследовании транспортного процесса, формализации локальных многовариантных задач, экономико-математической модели оптимизации процесса поездообразования на грузовых, участковых, сортировочных станциях.

Формируют поезда из вагонов определенного назначения в соответствии с планом формирования и установленными нормами массы и длины состава. ПФП разрабатывается и утверждается: сетевой по опорным станциям полигона сети - Укрзалізницею (УЗ); внутридорожный - управлением соответствующей железной дороги.

Задание по расчету междорожного и внутридорожного ПФП можно разделить на два уровня [1]:

- а) определение оптимального плана формирования сквозных поездов на полигоне железной дороги;
- б) организацию вагонопотоков в районах местной работы.

Для первой части расчета выбирается опорная сеть на основании анализа размещения на полигоне железной дороги станций, их технического оснащения и действующего плана формирования. В нее включаются сортировочные, участковые, большие грузовые станции данной железной дороги, а также соседних железных дорог [2].

Во второй части к опорным добавляют все линейные - грузовые и промежуточные станции, которые выполняют работу с поездами по плану формирования.

Прикрепление вагонопотоков к расчетным опорным станциям необходимо с целью учета технологии местной работы участков.

Эффективной организацией вагонопотоков занимались А. Н. Фролов, И. И. Васильев, А. П. Петров, В. Н. Образцов, В. Т. Осипов, К. А. Бернгард, В. С. Ларионов, А. К. Угрюмов, Л. П. Тупупов, В. М. Акулиничев, С. В. Дувальян, В. П. Черенин, А. И. Попов, А. Т. Осьминин и другие.

В 1901 г. А. Н. Фролов теоретически обосновал целесообразность формирования прямых товарных поездов определенных назначений без переработки на попутных технических станциях. Им впервые была установлена зависимость между простым под накоплением и числом назначений поездов. В то же время возник вопрос о применении маршрутизации с мест нагрузки.

С 1925 г. активно началась разработка новых методов организации вагонопотоков. И. И. Васильевым был разработан метод расчета ПФП - метод аналитических сопоставлений, который был основным методом расчета ПФП до 1944 г. и стал основой для многих следующих способов расчета плана формирования. Данный метод заключался в том, что оптимальные или близкие к нему варианты определяются на основании определенных расчетов последовательного приближения к лучшему варианту. Но это не гарантировало определения оптимального варианта, поскольку не рассматривались все возможные комбинации маршрутных назначений.

В 1944 г. профессор А. П. Петров [3] предложил метод абсолютного расчета показателей всех возможных вариантов ПФП. Он разработал алгоритм, по которому была составлена программа для выполнения последовательных расчетов плана формирования на ЭВМ. Оптимальный вариант ПФП определяется по минимуму расходов на накопление и переработку вагонопотоков на технических станциях по пути следования. Но широкого применения метод не получил, поскольку применялся лишь для расчета полигона с количеством станций не больше чем пять - шесть, что было вызвано ограниченностью в возможностях ЭВМ.

Существуют разные модификации аналитических методов, которые составляют группу приближенных методов расчета (П. С. Соколов, К. А. Бернгард, В. С. Ларионов, А. К. Угрюмов, Л. П. Тулупов, В. М. Акулиничев), а также модификации

метода абсолютного расчета, которые считаются более точными (В. П. Черенин, А. И. Попов, В. Г. Саенко, А. Т. Осьминин).

В 1948 г. В. П. Черенин предложил метод последовательных расчетов, суть которого заключалась в применении метода абсолютного расчета до последовательного исключения большого числа невыгодных вариантов до тех пор, пока не будут рассмотрены все группы вариантов с одинаковым числом назначений поездов, в которых может находиться оптимальный вариант.

Профессор А. К. Угрюмов [4] ввел понятие достаточного условия, то есть одна из комбинаций объединения струй внутри каждой группы должна обеспечить экономию вагоно-часов от проследования попутных технических станций, расположенных дальше чем пункт назначения более дальних поездов, в размере, который превышает расходы на накопление. Изложенная система расчетов обеспечивала нахождение оптимального плана формирования для отдельных станций. Для определения плана формирования в целом на направлении было предложено рассчитывать варианты по станциям назначения. После чего оба предыдущих варианта "накладывались" друг на друга, и в случае несовпадения отдельных назначений проводилась их корректировка, но четкого описания последовательности наложения вариантов нет. Поэтому для больших направлений ее приходилось выполнять только подбором, который не гарантирует оптимальность ПФП.

В 1967 году В.С. Ларионов [5] предложил расчет по методу аналитических сопоставлений выполнять графоаналитическим способом, разделяя вагонопотоки на зоны, пределами которых являются струи, которые удовлетворяют достаточному условию, и на пояса струями, которые отвечали необходимому условию расчета. Сквозные назначения выделялись по каждой зоне, при этом комбинации сочетаний струй вагонопотоков, выходящих из разных станций, которые не отвечают необходимому условию их объединений, переключались на другие сочетания струй. Использование этого метода основывалось на приемах подбора, которые не гарантируют нахождения оптимального варианта плана формирования поездов для всего направления, потому он практически не применяется для расчета плана формирования.

Профессором Л. П. Тулуповым [6] было предложено усовершенствование методики И. И. Васильева, с помощью вспомогательных таблиц, которые позволяли вести расчет с проверкой пропускной и перерабатывающей способности станций. При отборе не проводилось сравнение вагоно-часов с короткими касательными струями, дальние назначения заранее признавались выгоднее в сравнении с возможными сквозными назначениями в ближайших поясах.

В середине 50-х годов К. А. Бернгард [7] предложил метод совмещенных аналитических сопоставлений. Суть метода заключается в последовательном отборе наиболее эффективных из всех возможных сквозных назначений, которые обеспечивают наибольшую экономию вагоно-часов. Недостатком данного метода являются значительные расходы времени для пересоставления графика после каждого выделения назначений.

Профессор С. В. Дувалян [8] является автором метода последовательного улучшения. Суть метода заключается в последовательном улучшении плана путем перехода от одного множества назначений к другому за счет дополнения его другими назначениями.

В дальнейшем проф. С. В. Дувалян и инженер А. Є. Гарслян [9] доработали эту методику: дополнительно, как ограничение, были прибавлены переменные нормы экономии вагоно-часов от проследования станции без переработки и учтены ограничения перерабатывающей способности станций. Эта методика была принята МПС для расчета сетевого плана формирования.

Развитие вычислительной техники, развитие постановки и решения задач математического программирования привели к появлению группы новых методов расчета. Сюда относятся предложения В. Г. Шубко и А. Ю. Папахова (рассмотрение ПФП как задачи целочисленного программирования с булевыми переменными)[10], А. В. Кутыркина и В. И. Васильева (предложения по расчету ПФП с помощью метода веток и пределов)[11], А. А. Аветикяна (специальный метод объединения струй, увеличивающий транзитность вагонопотоков, названный автором «метод динамического прогнозирования транзитности»)[12].

К последним работам в этой области относятся предложения А. Т. Осьмини-на по оценке вариантов ПФП по нескольким натуральным критериям [13], В. И. Ковалева по расчету плана модифицированным методом совмещенных аналитических сопоставлений [14], В. А. Кудрявцева по расчету ПФП методом последовательного укрупнения струй вагонопотоков [15].

Оптимизация системы организации вагонопотоков предусматривает повышение транзитности вагонопотоков и снижение количества переработок вагонов на пути их следования, ускорение доставки грузов, снижение оборота вагонов. Существует несколько способов достижения этих целей. Одним из самых перспективных направлений есть стимулирование маршрутизации перевозок, которая максимально минимизирует эксплуатационные расходы железной дороги за счет отсутствия переработок на технических станциях.

1.2 Маршрутизация перевозок на железнодорожном транспорте

Одним из важнейших направлений совершенствования системы организации вагонопотоков есть маршрутизация перевозок, которая обеспечивает ускорение доставки грузов потребителям, более эффективное использование маневровых средств, сокращения простоя вагонов на технических станциях и на пути следования. В основе маршрутизации лежит концентрация и укрупнение вагонопотоков с мест их зарождения.

Маршрутизация организуется согласно плана формирования маршрутов с мест погрузки, который разрабатывается на период действия ПФП. В нем определяются станции отправления и станции выгрузки или распыления.

Вопросом маршрутизации перевозок занимались А. Н. Фролов, Н.Е. Боровой, В. К. Буянова, В. М. Акулиничев и др.

Существует ряд требований, без которых организация маршрутизации невозможна, и которые являются необходимым условием организации маршрута. Согласно [16] такими условиями являются:

- общая маршрутопригодность (определяет способность грузоотправителей и станций организовывать маршруты);

– маршрутопригодность по назначениям (для назначения, которое рассматривается, а это может быть предприятие, станция выгрузки или распыления, у всех отправителей, что объединены для организации маршрутов на это назначение, суммарный среднесуточный объем отправления должен быть не меньше, чем заданная норма состава, а погрузочная способность обеспечивает погрузку не менее полного состава).

Здесь говорится об условиях организации маршрутов для отправителей и железных дорог. Но определенные условия должны выполняться и по отношению к получателям грузов: суточная выгрузочная способность и складская емкость должны отвечать количеству груза, который прибыл в маршруте.

Кроме необходимых условий должен быть установленный критерий эффективности маршрутизации. Такими критериями могут быть:

- срочная доставка груза;
- максимальная разгрузка технических станций;
- экономия числа натуральных вагоно-часов.

Эффективность маршрутизации предложено определять в сопоставлении ее с не маршрутным отправлением грузов. Именно такая методика заложена в современные нормативные документы [17].

Достаточным, для включения в план маршрутизации отдельной корреспонденции грузов, есть следующее условие: дополнительные расходы на организацию маршрутов, в сравнении с немаршрутным отправлением, на станции погрузки $\Delta E_{\text{сн}(j)}$ и, если маршруты прямые, также на станции выгрузки $\Delta E_{\text{св}(j)}$, не должны превышать экономию по пути следования $\Delta E_{\text{ек}(j)}^{\text{прям}}$ по каждому j -му назначению с мощностью вагонопотока, что определяется по формуле:

$$\Delta E_{\text{сн}(j)} + \Delta E_{\text{св}(j)} \leq \Delta E_{\text{ек}(j)}^{\text{прям}}. \quad (1.1)$$

Грузовая корреспонденция, которая адресована на одну станцию назначения или группа до станции распыления, при расчете может быть включена в план маршрутизации, если она и не удовлетворяет достаточным условиям маршрутизации, но к ней можно и целесообразно присоединить более дальнее маршрутное назначение.

Суммарная экономия на пути следования определяется:

$$\Delta E_{\text{ек}}(j) = (\sum t_{\text{ек}(j)} + t_{\text{ек}}^{\text{дн}} + t_{\text{ек}}^{\text{дв}}) \sum_i N i j e_{nH(i)} + N j e_{nH}^{\text{ср}} \sum r_{\text{вл}(j)}, \quad (1.2)$$

где $t_{\text{ек}(j)}$ – экономия времени на технической станции от прохождения одного вагона без переработки, ч;

$t_{\text{ек}}^{\text{дн}}$ – экономия времени на участке погрузки, если станция погрузки промежуточная, ч;

$t_{\text{ек}}^{\text{дв}}$ – экономия времени на участке выгрузки, если станция выгрузки промежуточная и маршрут прямой, ч;

N – размер вагонопотока, который маршрутизируется;

$e_{nH(i)}$ – расходная ставка вагоно-часа погрузки, которая учитывает вид груза, грн.;

$e_{nH}^{\text{ср}}$ – среднесетевая расходная ставка вагоно-часов, грн.;

$\sum r_{\text{вл}(j)}$ – сума эквивалентов переработки вагонов и экономия локомотиво-часов и бригадо-часов, приведенные к стоимости 1 вагоно-часа на всех станциях, которые маршрут проходит без переработки.

Общие расходы, связанные с маршрутизацией, на станции погрузки будут составлять:

$$\Delta E_{\text{сн}(j)} = \Delta t_{\text{сн}} \sum N e_{nH}, \quad (1.3)$$

где $\Delta t_{\text{сн}}$ – дополнительный простой на станции погрузки маршрута в сравнении с не маршрутной погрузкой, ч.

Аналогично рассчитывают расходы на станции выгрузки:

$$\Delta E_{\text{св}(j)} = \Delta t_{\text{св}} \sum N e_{nH}, \quad (1.4)$$

где $\Delta t_{\text{св}}$ – дополнительный простой на станции выгрузки маршрута в сравнении с не маршрутной выгрузкой, ч.

При плановой экономике заинтересованность грузовладельцев и железной дороги в части маршрутизации вагонопотоков объединялись планом перевозок и планом маршрутизации погрузки как его основной составляющей. Но на данном этапе существуют противоречия между интересами железной дороги и грузоотправителями.

С переходом к рыночной экономике изменились условия функционирования отрасли, поэтому существующие методы определения эффективности организации маршрутов должны быть пересмотрены, прежде всего, с точки зрения экономической выгоды.

Для разных участников перевозочного процесса имеют место разные условия эффективности маршрутизации перевозок. В современных условиях следует разработать такую методику оценки эффективности маршрутизации, которая бы учитывала не только интересы железной дороги, но и других участников перевозочного процесса, который приведет к стимулированию предприятий к организации маршрутов. В статье А. И. Верлана [18] предлагается таким образом представить эффективность маршрутизации:

$$\begin{cases} E_{\text{от}} = \Delta n e_{\text{нН}} - E_{\text{от}}^{\text{доп}} \pm K_{\text{от}} \geq 0, \\ E_{\text{жд}} = N e_{\text{нН}}^{\text{ср}} \sum r + E_{\text{по}} + E_{\text{ко}} + E_{\text{уч.н}} + E_{\text{уч.в}} \pm K_{\text{жд}} \geq 0, \\ E_{\text{од}} = -E_{\text{од}}^{\text{доп}} \pm K_{\text{од}} \geq 0, \end{cases} \quad (1.5)$$

где $E_{\text{от}}, E_{\text{жд}}, E_{\text{од}}$ – экономия затрат грузоотправителя, железной дороги и грузополучателя соответственно, грн.;

Δn – сокращение эксплуатационного парка грузовых вагонов, которые задействованы для перевозки, в сравнении с отправлением повагонных отправок;

$E_{\text{от}}^{\text{доп}}, E_{\text{од}}^{\text{доп}}$ – дополнительные приведенные расходы грузоотправителей и грузополучателей, связанные с выполнением на их подъездных путях (ПП) начальных и конечных операций по формированию и погашению поездопотоков соответственно, грн.;

$K_{от}$, $K_{жд}$, $K_{од}$ – компенсации участнику перевозочного процесса (грузоотправителю, железной дороге, грузополучателю соответственно) дополнительных расходов, связанных с маршрутизацией перевозок, *грн.*;

$E_{по}$, $E_{ю}$ – сокращение эксплуатационных расходов станции примыкания (погрузка и выгрузка) в связи с выполнением начальных и конечных операций на ПП, а также исключение подачи-уборки вагонов маневровым локомотивом соответственно, *грн.*;

$E_{уч.н}$, $E_{уч.в}$ – сокращение эксплуатационных расходов железной дороги в связи с отсутствием перевозки вагонов на участках, которые примыкают к станциям погрузки и выгрузки, в сборных, вывозных, передаточных поездах соответственно, *грн.*

В случае если компенсации $K_{от}$, $K_{жд}$, $K_{од}$ равны нулю, то отправительская маршрутизация приводит к экономии эксплуатационных расходов железных дорог и увеличению эксплуатационных расходов грузоотправителя. Расходы грузополучателя могут иметь как положительное, так и отрицательное значение.

Вопрос компенсации дополнительных расходов грузополучателю решается за счет грузоотправителя, путем снижения стоимости груза или увеличения стоимости его переработки.

Для компенсации дополнительных расходов грузоотправителя, связанных с формированием отправительских маршрутов, железные дороги разных стран вводят дифференциацию грузовых тарифов или устанавливают скидки к тарифам. Так в Российской Федерации в Прейскуранте 10-01 [19] предусмотрены понижающие коэффициенты к грузовому тарифу, дифференцированные в зависимости от расстояния перевозки и вида маршрута (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Поправочные коэффициенты к тарифу для маршрутных отправок в Российской Федерации

Виды маршрутов	Расстояние перевозки, км			
	До 500	501 – 1000	1001 – 2000	Более 2000
Прямые	0,85	0,89	0,92	0,95
В распыление	0,90	0,92	0,95	0,97

В США стимулирование грузоотправителей к формированию отправительских маршрутов также выполняется за счет тарифной политики. Снижение тарифа на перевозку осуществляется индивидуально для каждого отправителя и зависит от вида маршрута и рода груза. Например, при перевозке этанола маршрутами снижение тарифа составляет 26,4-27,6 %, согласно [20], при перевозке угля, руды, минеральных удобрений - 20-40%, для зерновых грузов - 50% и более, согласно [21].

В Украине есть опыт применения дифференциации тарифов для перевозки грузов маршрутами в виде специальных коэффициентов к Сборнику тарифов [22], но на сегодняшний день ни дифференциация тарифа, ни понижающие коэффициенты не применяются. Поэтому грузоотправители и грузополучатели не имеют стимулов для усовершенствования технического оснащения с целью формирования маршрутов. В связи с этим необходимо разрабатывать методы компенсации дополнительных расходов грузоотправителям. Этим вопросом занимались А. И. Верлан [18], Д. Н. Козаченко [23].

Учитывая структуру экономии, возникающую при маршрутизации перевозок Д. Н. Козаченко [23] предложил следующую формулу определения величины скидки:

$$C = E_{\text{н}} + E_{\text{прям}} + E_{\text{в}}, \quad (1.6)$$

где $E_{\text{н}}$ – экономия, которая возникает на станции погрузки в случае, если формирование отправительского маршрута проводится на ПП, *грн.*;

$E_{\text{прям}}$ – экономия, которая возникает на пути следования из-за исключения переработки вагонов, *грн.*;

$E_{\text{в}}$ – экономия, которая возникает на станции выгрузки в случае, когда погашение отправительского маршрута выполняется на ПП, *грн.*

В целом экономия $E_{\text{н}}$ и $E_{\text{в}}$ возникает за счет сокращения расходов на использование железнодорожной инфраструктуры и маневровых средств станции. Экономия на пути следования $E_{\text{прям}}$ возникает в связи с исключением переработки вагонов и перецепки поездных локомотивов.

При использовании скидок на тарифы при маршрутизации возникает вопрос недополучения дохода железной дорогой. Эти потери можно компенсировать за счет выполнения дополнительных услуг для грузоотправителя. Одной из таких услуг может быть формирование маршрута (при условии недостаточной длины подъездного пути предприятия, а также невозможности выставить сформированный маршрут на станцию через маломощные локомотивы, работа по формированию маршрута может производиться железной дорогой на договорных условиях).

В работе [24] предложено следующее условие эффективности маршрутизации с экономической точки зрения из расчета на один маршрут:

$$D_{\text{ус}} \geq \Delta P - D_{\text{доп}}, \Delta P > d_{\text{доп}}, \quad (1.7)$$

где $D_{\text{ус}}$ – условная прибыль, которая получена от маршрутизации, *грн.*;

ΔP – потери, которые возникают из-за разницы тарифов при отправлении маршрутов вместо вагонных отправок, *грн.*;

$D_{\text{доп}}$ – часть прибыли от предоставления железной дорогой дополнительных услуг отправителю, *грн.*;

$d_{\text{доп}}$ – дополнительная прибыль от формирования отправительских маршрутов на железнодорожных путях общего пользования силами железной дороги, *грн.*

Таким образом, предложенный метод позволяет железным дорогам компенсировать потерянные доходы при маршрутизации. Но существенным недостатком предложенного метода является то, что учитываются лишь интересы железных дорог, поскольку участниками организации маршрута являются также отправитель и получатель.

В статье [25] предложен метод расчета маршрутизации при котором достигается экономическая заинтересованность грузоотправителей при формировании отправительского маршрута на станционных путях силами УЗ. Таким образом их расходы должны быть меньше прибыли, которую получают клиенты за счет снижения тарифа за маршрутное отправление в сравнении с вагонной, то есть:

$$D'_{\text{доп}} < \Delta P_{ij}^r, \quad (1.8)$$

где $D'_{\text{доп}}$ – дополнительный доход УЗ от формирования отправительского маршрута силами и средствами железной дороги (расходы клиента), *грн.*;

ΔP_{ij}^r – потери, которые возникают из-за разницы тарифов при отправлении грузов маршрутами (прибыль клиента), *грн.*

Анализ исследований показывает, что существующие долгие годы способы маршрутизации перевозок из мест погрузки и методы оценки ее эффективности не в полной мере отвечают новым условиям работы железных дорог и перевода системы управления перевозками на экономические принципы.

Благодаря маршрутизации обеспечивается ускорение оборота вагонов, снижение переработки вагонов на технических станциях, сокращение сроков доставки грузов. При этом улучшение использования железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава вызывает необходимость увеличения погрузочно-разгрузочных мощностей и путевой емкости грузоотправителей и грузополучателей. Это приводит к необходимости разработки системы скидок и компенсаций, что приведет к стимулированию грузоотправителей и грузополучателей.

Таким образом, маршрутизация перевозок является одним из основных путей усовершенствования организации вагонопотоков и ускорения их продвижения. Но в условиях снижения объемов перевозок маршрутизация не всегда является оптимальным вариантом. В этих условиях предлагается также другой путь усовершенствования организации вагонопотоков - оперативное управление продвижением вагонопотоков, то есть организация групповых поездов.

1.3 Оперативная организация вагонопотоков на железнодорожном направлении

Оптимизация системы организации вагонопотоков предусматривает повышение транзитности вагонопотоков и снижение количества переработок вагонов по пути их следования, ускорение доставки грузов, снижение оборота вагонов. Одним

из наиболее действенных способов достижения данных целей есть формирование групповых поездов.

Выделение сравнительно небольших групп вагонопотоков (30-100 вагонов в сутки) в самостоятельные назначения плана формирования часто вызывает неоправданные расходы на накопление, а объединение их с другими струями может чрезвычайно загрузить неприспособленные для большого объема переработки вагонов участковые станции [3, 26]. Именно в таких случаях целесообразно формировать групповые поезда, то есть поезда, которые составлены из вагонов двух и более назначения, подобранные в отдельные группы.

Наибольший эффект при формировании групповых поездов достигается за счет сокращения простоя вагонов под накоплением. Это приводит к снижению оборота вагона, ускорению доставки и снижению необходимости в вагонном парке. Также групповые поезда способствуют улучшению использования мощности локомотива за счет более широкого применения дифференцированных норм масс.

В настоящее время на железных дорогах Украины формируют групповые поезда следующих видов:

- двугруппные и трехгруппные без постоянной массы групп и прикрепления к определенному расписанию. Этот вид проще всего. Назначают такие поезда при равенстве или увеличении вагонопотоков по пути следования. Такой групповой поезд формируют на начальной станции после накопления вагонов на полный состав независимо от количества, назначения и массы групп каждого из них;

- двугруппные с постоянной массой групп, не прикрепленные к определенному расписанию. Эти поезда назначают на направлениях, где нормы массы изменяются (переломом) в сторону уменьшения. К ним относятся также сквозные поезда, которые пополняются местными или внутридорожными вагонопотоками;

- двугруппные с постоянной массой групп, прикрепленные к определенному расписанию. Назначают их на направлениях, которые пересекаются или сходятся, при постоянных вагонопотоках, недостаточных для формирования одnogруппных поездов. Особенно эффективно это в пунктах зарождения вагонопотоков, поскольку календарное планирование позволяет регулировать нагрузку соответствующего числа вагонов по назначениям;

– участковые групповые поезда, которые обращаются по определенному расписанию (могут быть многогруппными - до четыре-пять групп). Используются для развоза местного груза между смежными сортировочными станциями.

На это время при расчете вагонопотоков применяется условие, по которому оптимальный план формирования поездов должен обеспечивать минимальные расходы приведенных вагоно-часов на накопление и переработку вагонов. Согласно методики [27] принцип расчета плана формирования групповых поездов заключается в сопоставлении всех возможных вариантов одnogруппного и группового формирования и выборе оптимального на основании определения расходов приведенных вагоно-часов в каждом варианте. При этом не учитывается влияние неравномерности процесса накопления, которая влияет на величину параметра накопления.

В последние годы все больше ученых считают, что оценивать принятые решения необходимо в денежном эквиваленте. Так в работе [28] рекомендуется оценивать варианты ПФП сначала по эксплуатационным показателям, а потом определять наиболее экономный вариант по суммарным расходам на организацию и продвижение вагонопотоков.

В работе [29] предложена методика расчета плана формирования групповых поездов, в которой в качестве критерия эффективности назначения групповых поездов используются эксплуатационные расходы, которые возникают как на станциях формирования, расформирования и перецепки групп, так и в пути следования. Предложенная методика базируется на результатах расчета и анализа длительности выполнения маневровых операций на станциях с учетом особенностей технологии работы с групповым поездом, а также продолжительности межоперационных простоев. Оценка эффективности формирования групповых поездов выполняется по критерию минимума денежных расходов с учетом станционной технологии работы, а также с выделением расходов на работу локомотивов. В работе [30] для выбора рациональной организации вагонопотоков предлагается вместе с другими критериями использовать стоимостную оценку конкурентных вариантов.

В последние годы в системе организации вагонопотоков на отечественных железных дорогах произошли серьезные изменения. Снижение мощности вагонопотоков резко снизило выгодность выделения одnogруппных назначений. На сегодня

наиболее эффективно задача оперативного управления вагонопотоками решается при создании «трехслойного» плана формирования поездов [26]. Он должен включать в себя три группы назначений: которые не могут быть откорректированы в течение всего периода действия плана (стабильное ядро), периодически вводятся и отменяются с указанием условий их приложения и рекомендованные варианты корректировок плана формирования, которые устанавливаются для отдельных поездов и обеспечивают оперативное управление вагонопотоками с учетом условий их подхода. В третью группу назначений входит формирование отдельных поездов, в том числе и групповых, из вагонов с местным грузом или порожних под погрузку, а также групповой подбор вагонов по отдельным маневровым районам в поездах назначением на большие грузовые станции с недостаточно развитыми сортировочными устройствами.

Большое влияние на расчет плана формирования групповых поездов имеют колебания вагонопотоков [26]. Современная технология разработки ПФП базируется на среднесуточных плановых вагонопотоках и не учитывает их колебаний на протяжении сезонов года, дней недели и часов суток. Это приводит к несоответствию действующего ПФП фактическим колебаниям вагонопотоков. За счет приведения плана формирования в соответствие с колебаниями вагонопотоков и оперативной ситуацией можно сократить время нахождения вагонов на станциях. Частичное изменение плана формирования получило наименование оперативной корректировки.

Сегодня все более актуальной становится задача оперативного планирования и управления эксплуатационной работой. В настоящее время в эксплуатационной теории и практике существуют эффективные методы оперативного управления вагонопотоками, которые позволяют не только определять объемы будущей поездной работы, но и разрабатывать способы ее выполнения.

Если по оперативному планированию организации вагонопотоков существуют научные разработки, то процесс реализации эффективной технологии перевозок в оперативных условиях находится еще в стадии становления.

Одним из важнейших заданий оперативного управления вагонопотоками есть регулирование процесса накопления составов путем организованного подвода вагонов отдельных назначений и их переработки на сортировочных станциях по плану

формирования поездов. В монографии [31] подчеркивается, что регулирование процесса накопления вагонов обуславливает тот или другой порядок операций, выполнение которых связывается целесообразной схемой подведения групп, переработки и отправления накопленных вагонов относительно конкретной ситуации, которая сложилась, на станциях и участках.

Таким образом, процесс накопления является комплексом внестанционных и внутростанционных процессов, каждое из которых характеризуется объективными и субъективными факторами.

Как указано в работах [32, 33] для назначений, которые входят в нормативный ПФП, целесообразно рассчитывать критические (наибольшие и наименьшие) размеры вагонопотоков. Далее определяют корректировки, которые следует вносить к основному варианту плана при изменении вагонопотоков сверх критических значений.

В разделе «Общие указания к плану формирования поездов» регламентируется порядок внесения изменений в ПФП [34]. Но лишь начиная с 1999 года в данном разделе появился пункт, который узаконивает оперативную корректировку плана формирования для отдельных поездов [35].

Оперативной корректировке ПФП были посвященные работы А. Ю. Папахова, В. К. Буяновой, В. А. Покавкина и др.

В работах А. Ю. Папахова [10] и В. К. Буяновой [36] рекомендовано не реже, чем один раз на квартал проводить корректировку внутридорожного плана формирования. Это позволяет своевременно вводить изменения назначений поездов или их структур адекватно размерам изменяющихся вагонопотоков. Данный подход к корректировке ПФП трудно назвать оперативным, поскольку при данном подходе практически не учитывается внутрисуточное и межсуточное колебание вагонопотоков.

В работах В. А. Покавкина [37, 38] предложена методика и приведены результаты расчетов по оперативному назначению групповых поездов вместо одnogруппных без отмены действующего ПФП, которая основана на учете межсуточных колебаний вагонопотоков. Результаты исследований показали, что такой подход позволяет существенно сократить простой вагонов под накоплением. Однако такая корректировка ПФП, которая учитывает межсуточные колебания вагонопотоков, является не достаточно оперативной, поскольку его невозможно применить для принятия реше-

ния в текущий момент времени при сложившейся оперативной ситуации. Кроме того она не учитывает состояние прилегающих участков. Важнейшим фактором для применения групповых поездов является четкая технология работы с ними.

С введением в действие автоматизированных центров управления перевозками на базе новых информационных возможностей системы НАСК ВП УЗ на железных дорогах Украины появляется возможность осуществлять текущие корректировки плана формирования. Наиболее интенсивная работа в этом направлении ведется в УкрДАЗТ. Вопросами оперативной организации вагонопотоков, текущей корректировки ПФП и оптимизации технологии обслуживания поездов в оперативных условиях занимались такие ученые данного заведения как М. И. Данько, Т. В. Бутько, Д. В. Ломотько и др. [39,40].

В работе [39] усовершенствование технологии корректировки ПФП предлагается за счет согласованной организации групповых поездов оперативного назначения. В работе [40] предложена методика, которая на основе использования аппарата нечетких множеств и передовых достижений в отрасли безбумажной передачи данных в реальных условиях позволяет оперативно управлять ПФП. Но, к сожалению, в данных работах отсутствует методика оценивания принятых решений относительно корректировки ПФП и результаты влияния данных мероприятий на технико-экономические показатели работы станций и железнодорожных направлений.

Оперативная корректировка является наиболее распространенной на практике и вместе с тем наиболее сложной. Для проведения оперативной корректировки необходимо детальное изучение характера поступления вагонов на станции направления, что позволило бы увеличить оперативность принимаемых решений.

1.4 Постановка задачи дипломной работы

Интеграция железных дорог Украины в систему международных перевозок требует обеспечения четких сроков доставки грузов. Решение данной задачи возможно за счет усовершенствования системы организации вагонопотоков.

В условиях рыночной экономики возникает необходимость поиска новых подходов к организации вагонопотоков. Конечной целью предусматривается не только рациональное распределение работы между техническими станциями, но и

получение прибыли от их деятельности. В существующих экономических условиях гарантией успешного труда железных дорог является повышение результативности за счет снижения эксплуатационных расходов.

Одним из важнейших направлений совершенствования системы организации вагонопотоков есть маршрутизация перевозок, которая обеспечивает снижение оборота вагонов, повышения производительности вагонов при одновременном снижении количества подвижного состава при тех же объемах перевозок, снижение объемов маневровой работы на станциях. В настоящее время появляется вопрос о расчете эффективности маршрутизации с учетом интересов каждого из участников перевозочного процесса (железных дорог, грузоотправителей, грузополучателей, операторов вагонов) и стимулирования маршрутных перевозок путем предоставления определенных скидок, учитывая основную цель деятельности - получение прибыли железной дорогой.

В современных условиях происходят значительные колебания вагонопотоков в сторону снижения объемов перевозок. В таких условиях особо важным становится оперативное назначение групповых поездов, которое приведет к сокращению простоя вагонов под накоплением и повышению транзитности на технических станциях. Учитывая большое значение групповых поездов в деле ускорения продвижения вагонопотоков, нужно разработать методику совершенствования формирования групповых поездов в оперативных условиях.

Таким образом, за счет усовершенствования системы организации вагонопотоков возможно значительное снижение эксплуатационных расходов железных дорог. Учитывая отсутствие средств на обновление материально-технической базы, такой подход является достаточно перспективным. В связи с этим в рамках работы предлагается исследование эффективности применения оперативного назначения групповых поездов с целью повышения степени интероперабельности железных дорог Украины. Решение поставленной задачи будет охватывать одновременно все технические станции в пределах железнодорожного направления, учитывать реальную глубину прогноза поступления вагонопотоков по назначениям, размещение взаимодействующих станций и связывающих их план формирования.

2 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ

Для эффективной организации перевозочного процесса, учитывая его сложность, необходима текущая и периодическая оценка его объемов и качества. С этой целью на железных дорогах используется система показателей, без которой невозможное планирование и учет работы железных дорог, а также контроль выполнения установленных планов перевозок и анализ качества использования вагонного парка. Существующая система показателей включает количественные и качественные показатели работы железной дороги.

Количественные показатели используются для определения количества (объема) запланированной или выполненной эксплуатационной работы и рассчитываются для сети железных дорог в целом, для дорог и отделений, линейных подразделений - станций, депо, дистанций. К количественным показателям относятся: погрузка, выгрузка, размеры движения поездов по участкам, прием и сдача поездов по стыковым пунктам, сдача порожних вагонов, работа вагонного парка, пробег вагонов и локомотивов.

С помощью качественных показателей определяется качество организации перевозок и использования подвижного состава. К ним относятся следующие показатели: оборот вагона, участковая скорость движения поездов, простой вагонов на технических и грузовых станциях, рейс вагона, среднесуточный пробег вагона и локомотива, коэффициент порожнего пробега, статическая, динамическая нагрузка вагона, производительность вагона и локомотива.

Универсальным показателем качества работы железных дорог и использования подвижного состава, который отображает уровень организации труда всех работников железных дорог и подъездных колеи предприятий, является оборот вагона.

Оборот вагона имеет принципиальное значение для определения необходимого развития объектов инфраструктуры. Очевидная связь между составляющей оборота вагона - время нахождения в движении и потребным парком локомотивов (и локомотивных бригад). Менее очевидная, но достаточно существенная, связь воз-

никает между величиной оборота вагона и необходимым путевым развитием инфраструктуры. При ускорении оборота вагона увеличивается пропускная способность участков и станций.

Но наиболее существенное влияние оборот вагона имеет на величину рабочего парка вагонов. Снижение величины оборота вагонов приводит к высвобождению вагонов, что позволяет уменьшить эксплуатационные расходы на содержание подвижного состава и отдалает на определенное время необходимость в обновлении подвижного состава. Ускорение оборота вагонов является ключевым заданием всех подразделений железнодорожного транспорта.

2.1 Анализ выполнения оборота вагона на дирекции

Ускорение оборота вагонов приводит к:

- выполнению заданного объема перевозочной работы с меньшим парком вагонов, который соответственно приводит к снижению себестоимости перевозок;
- ускорению доставки грузов, которая способствует привлечению новой клиентуры;
- экономии на капиталовложениях, поскольку высвобожденные из обращения вагоны на некоторое время отдалают необходимость транспорта в пополнении парка вагонов новым подвижным составом.

Для выявления резервов ускорения оборота вагона необходимо выполнить детальный анализ этого показателя, в том числе и по элементам.

Для анализа динамики изменения величины оборота проведен анализ соответствия фактических значений оборота вагона рассчитанным техническим нормам за 2016 - 2018 года. Для этого была выбрана одна из дирекций железнодорожных перевозок, на которой сконцентрированы большие объемы грузовой работы и происходит формирование значительного количества поездов разных категорий. На рисунке 2.1 приведен помесичный анализ выполнения оборота вагона за 2016 г., который построен на основе сведений о выполнении показателя оборота вагона на дирекции (приложение А, таблица А. 1). Аналогичные зависимости за 2017 и 2018 г. приведены в приложении Б (рисунок Б. 1, рисунок Б. 2).

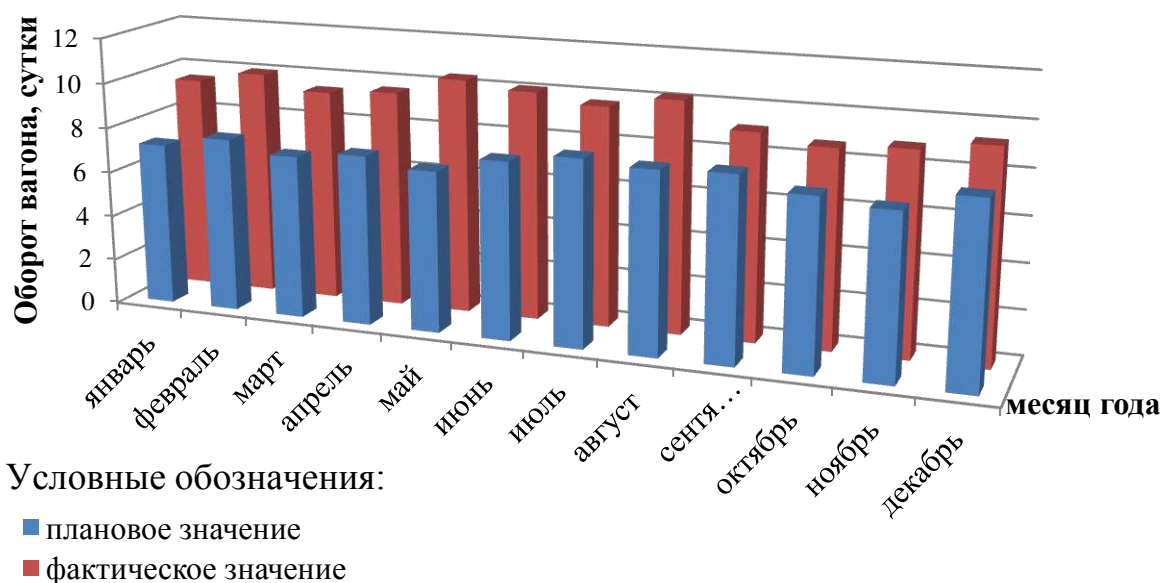


Рисунок 2.1 – Помесячный анализ выполнения оборота вагона на дирекции за 2016 г.

Полученные зависимости свидетельствуют о несоответствии фактической величины оборота вагона запланированным значениям. Это связано со следующими причинами: невыполнение плана погрузки, снижение объемов погрузки, недополучение вагонов по стыкам дирекции. Динамика изменения оборота вагона на дирекции за 2016 - 2018 гг. представлена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Динамика изменения среднегодовой величины оборота вагона на дирекции за 2016-2018 гг.

Полученная зависимость свидетельствует о том, что среднегодовое фактическое значение оборота превышает запланированное, к тому же разрыв между ними имеет тенденцию к увеличению. В связи с этим возникает необходимость более совершенного анализа оборота вагона с целью выявления элементов, которые приводят к постоянным нарушениям плана и разработке мероприятий относительно сокращения величины оборота вагона, который позволит ускорить доставку грузов, уменьшить эксплуатационные расходы железных дорог и затраты от выплат за несвоевременную доставку грузов.

В соответствии с традиционными подходами считается, что оборот вагона является отчетным показателем, но задача его стабилизации требует предоставления ему признаков оперативности. Отчетный характер оборота грузового вагона подтверждается существующими методами его расчета, в соответствии с которыми существуют подходы к использованию трех-, четырех-, пятичленной формулы. Классическая трехчленная формула, которая положена в основу планирования величины оборота, имеет вид [41]

$$\theta = \frac{1}{24} \left(\frac{l}{V_{\text{уч}}} + \frac{l}{L_{\text{тех}}} t_{\text{тех}} + K_{\text{м}} t_{\text{гр}} \right), \quad (2.1)$$

где l – полный рейс вагона, км;

$V_{\text{уч}}$ – средняя участковая скорость вагонов, км/ч;

$L_{\text{тех}}$ – вагонное плечо, км;

$t_{\text{тех}}$ – средний простой вагона на одной технической станции, ч;

$t_{\text{гр}}$ – средний простой вагона под грузовой операцией, ч;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент местной работы.

В соответствии с рекомендуемой формулой удобно анализировать соотношение между составными элементами оборота вагона: продолжительностью нахождения вагона в движении, продолжительностью простоя на технических станциях и под грузовыми операциями.

Продолжительность нахождения вагона на участках включает в себя время в движении и простой на промежуточных станциях. Поэтому данный элемент возможно уменьшить за счет увеличения участковой скорости. Из-за увеличения скорости движения поездов повышается пропускная способность участков, что в свою очередь снижает потребность в количестве путей как главных, так и приемо-отправочных.

Количество высвобожденных вагонов в результате изменения участковой скорости можно определить, согласно [41], по формуле

$$\Delta n_{\text{в}}^{\text{д}} = \frac{1}{24} U \left(\frac{1}{V_{\text{уч}}'} - \frac{1}{V_{\text{уч}}''} \right), \quad (2.2)$$

где U – работа подразделения, *ваг.*

Но в современных условиях увеличение скорости поездов связано со значительными капиталовложениями в обновление инфраструктуры, поскольку современное состояние путей приводит к значительным ограничениям скорости на отдельных участках.

Простои вагонов на технических станциях, вызванные нарушением технологии работы, задержками в обработке, замедленным расформированием и формированием поездов и др. При увеличении этого элемента возникает увеличение потребности в путевом развитии технических станций и задержке поездов на подходах к техническим станциям. Величина среднего простоя транзитных вагонов зависит не только от качества работы станции, но и от части вагонов, которые перерабатываются, в общем количестве. С увеличением этой части средний простой увеличивается, поскольку время простоя вагона с переработкой значительно больше времени простоя вагона без переработки. Повышенное поступление вагонов в переработку иногда вызвано нарушением плана формирования поездов. Количество высвобожденных вагонов от сокращения простоя на одной технической станции определяется, в соответствии с [41].

$$\Delta n_{\text{вс}}^{\text{тех}} = \frac{\Delta t_{\text{тех}} K_{\text{тех}} U}{24}, \quad (2.3)$$

где $K_{\text{тех}}$ — количество технических станций.

Значительное влияние на длительность оборота вагона имеет также простой вагонов под грузовыми операциями, который зависит от среднего простоя вагона под одной грузовой операцией и коэффициента местной работы. Возможное ускорение собственно грузовых операций за счет усовершенствования методов их выполнения и применения более мощных погрузочно-разгрузочных машин. Данный путь требует значительных капиталовложений от отправителей и грузополучателей на усовершенствование механизмов погрузки-выгрузки. В связи с колебаниями вагонопотоков по периодам года, месяцам и суткам возникают колебания количества вагонов, которые приходят в передаточных поездах на грузовые пункты предприятий, и возникает значительный простой вагонов в ожидании выполнения операций. Величина этих простоев зависит от объема работы, перерабатывающей возможности грузовых фронтов, количества маневровых локомотивов и времени выполнения операций. Кроме того могут возникать простои, которые не зависят от железных дорог: ожидание и пребывание вагонов под таможенными операциями, ожидание переадресовки вагонов и причины связанные с реформированием отрасли грузовых перевозок, таких как запрет погрузки вагонов УТЛЦ за границу и перезаключение договоров с владельцами подвижного состава. Исходя из этого, необходимо усовершенствовать технологию работы в части развоза местных вагонов, организовывать четкое взаимодействие железной дороги со смежными структурами, эффективнее сотрудничать с отправителями и получателями, согласовать взаимодействие служб, причастных к планированию, организации и обслуживанию местных вагонопотоков.

Число вагонов, которое высвобождается при уменьшении простоя под одной грузовой операцией, согласно [41], определяется

$$\Delta n_{\text{вс}} = \frac{\Delta t_{\text{в}} K_{\text{м}} U}{24}. \quad (2.4)$$

Влияние каждого показателя на количество высвобожденных вагонов целесообразно выразить в денежном эквиваленте. Учитывая идентичность определения экономии средств, согласно [41], отобразим величину общей экономии в виде

$$E = \Delta n_i e_{\text{ваг-г}} 24, \quad (2.5)$$

где $e_{\text{ваг-г}}$ – расходная ставка одного вагоно-часа, *грн.*;

Δn_i – количество высвобожденных вагонов за счет оптимизации отмеченных факторов ($i=1$ – от изменения участковой скорости, $i=2$ – при сокращении простоя на одной технической станции, $i=3$ – при сокращении простоя под одной грузовой операцией).

Выполним анализ влияния каждого элемента оборота вагона в процентном отношении. Если принять полное время оборота за 100%, то 40-45% этого времени вагон находится на технических станциях, 30-35% – на станциях где выполняются грузовые операции и только 20-25% времени оборота вагон находится на участках, причем в чистом движении (за исключением стоянок поездов на промежуточных станциях) – около 15-20%. Такое распределение времени в обороте грузовых вагонов не изменяется в течение последних лет (см. рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Распределение факторов, влияющих на величину оборота вагона

Анализ каждой составляющей оборота вагона позволяет сделать вывод, что наибольшее влияние на значение оборота вагона имеет простой вагона на технической станции. Для выявления резервов относительно сокращения простоя вагона и технической станции необходимо выполнить поэлементный анализ величины оборота вагона с целью выявления резервов их возможного сокращения.

2.2 Анализ продолжительности нахождения вагона на технической станции

Для анализа простоя вагонов на технической станции избрана сортировочная станция А, на которой выполняются значительные объемы обслуживания транзитных вагонов с переработкой и без переработки.

Что касается простоя транзитного вагона без переработки, то превышение плана практически отсутствует (в среднем за год план составлял 2,35 год, выполнение - 1,98 год). В этом случае с составами происходит технический и коммерческий осмотр, смена поездного локомотива. Резерв уменьшения длительности нахождения этих вагонов на станции практически отсутствует, поскольку снижение длительности осмотра возможно за счет увеличения количества осматривающих, что не является целесообразным, а длительность ожидания подачи локомотива зависит от наличия локомотива на данный момент времени.

Что касается длительности простоя транзитного вагона с переработкой на технической станции, то здесь возможно существенное сокращение. Простой транзитного вагона с переработкой можно рассчитать по формуле [42]

$$t_{з/п} = t_{пп} + t_{расф} + t_{нак} + t_{оф} + t_{по}, \quad (2.6)$$

где $t_{пп}$ – продолжительность простоя в парке приема, ч;

$t_{расф}$ – продолжительность расформирования состава, ч;

$t_{нак}$ – продолжительность простоя под накоплением, ч;

$t_{оф}$ – продолжительность окончания формирования состава, ч;

$t_{по}$ – продолжительность простоя в парке отправления, ч.

В целом, сокращение времени простоя вагонов на технической станции можно достичь за счет: усовершенствования системы организации вагонопотоков; повышения транзитности и снижения трудоемкости переработки вагонопотоков; сокращения времени на обработку поездов, прежде всего в парке прибытия и отправления, путем усовершенствования оперативного планирования, повышения достоверности информации о подходе поездов и грузов, улучшения ее использования; повышения ответственности диспетчерского аппарата за своевременное обеспечение локомотивами и вывоз поездов; дальнейшего повышения качества использования сортировочных устройств, сокращения технологических перерывов между операциями.

Для возможности разработки мероприятий относительно сокращения простоя вагонов, был выполнен поэлементный анализ времени нахождения на станции транзитного вагона с переработкой. На основе статистических данных, приведенных в Приложении А, в таблице А. 2 получена диаграмма влияния отдельных элементов на общее время простоя транзитного вагона с переработкой, которая приведена на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Распределение факторов, которые влияют на общее время простоя транзитного вагона с переработкой на технической станции

Полученная зависимость свидетельствует о том, что наибольшее влияние на простой транзитного вагона с переработкой имеют следующие элементы: простой в парке отправления и простой в сортировочном парке под накоплением.

Простой вагонов в парке отправления составляет около 20% общей длительности простоя на технической станции. Существенная часть этого времени приходится на ожидание подачи поездного локомотива для отправления. Для сокращения этого элемента необходима разработка эффективных методов по организации оборота поездных локомотивов.

Накопление вагонов в сортировочном парке занимает наибольшую часть простоя вагона на технической станции (50-70% от общего простоя вагонов на станции). Поэтому возникает необходимость детального рассмотрения процесса накопления вагонов, с целью поиска резервов для его сокращения.

2.3 Анализ процесса накопления составов

Разные варианты организации вагонопотоков влияют на отдельные факторы, которые определяют процесс накопления вагонов на сортировочных станциях. К таким факторам можно отнести: количество назначений, мощность вагонопотока, количество вагонов в группах, которые прибывают, интервал прибытия групп, величину завершающей группы, количество групп на накопление состава и др.

В соответствии с [41] процесс накопления характеризуется количеством вагонов на пути в отдельный момент времени R и по характеру может быть прерывным (П), частично прерывным (Ч) или непрерывным (Н).

В первом случае составы, величиной m вагонов, накапливаются без остаточных групп и завершающая группа полностью включается в состав, который отправляется (рисунок 2.5).

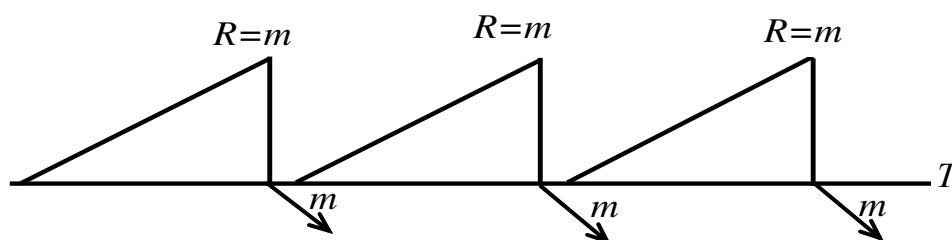


Рисунок 2.5 – Схема прерывного процесса накопления

Особенность частично прерывного процесса заключается в том, что после отдельных составов остаются вагоны, которые переходят для накопления следующих составов (рисунок 2.6).

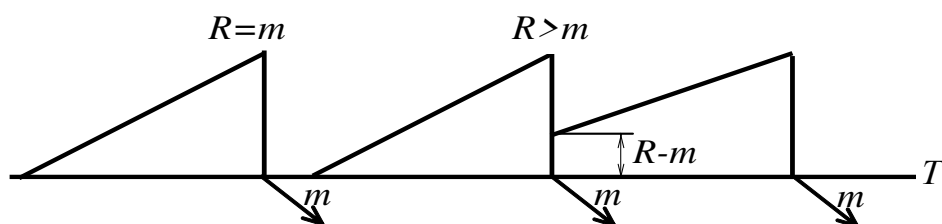


Рисунок 2.6 – Схема частично прерывного процесса накопления

Непрерывный процесс имеет теоретическое значение и может возникнуть, когда вагоны остаются по завершению накопления каждого состава (рисунок 2.7).

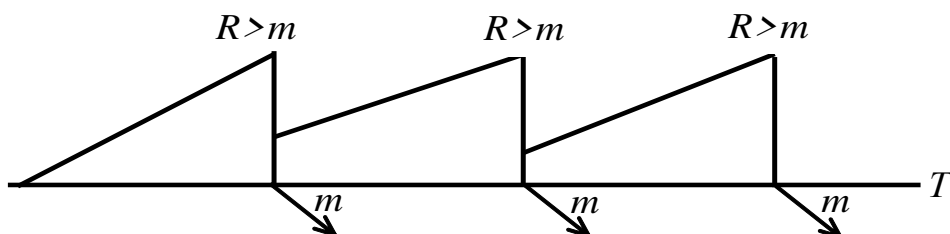


Рисунок 2.7 – Схема непрерывного процесса накопления

Разновидности прерывного процесса накопления следующие [41]:

- составы накапливаются до нормы, которая удовлетворяет условиям полновесности и полносоставности поезда (схема П1);
- составы накапливаются к определенному моменту, при достижении которого поезд отправляется независимо от количества вагонов в нем (схема П2);
- комбинированный случай - часть поездов одного и того же вагонопотока отправляют по расписанию, а другую - по графику с накоплением до определенной величины (схема П3).

Схема П1 характерна для вывозных, передаточных, а также порожних и некоторых участковых поездов, которые следуют без расписания, когда нет существенных ограничений по весу и длине состава. В данной схеме реальный процесс накопления характеризуется тем, что составы накапливаются из разных по величине групп n_j ,

которые поступают через неодинаковые промежутки времени I_j . Для схемы П1 вагоно-часы накопления всех составов данного назначения определяются [41]

$$W_{\text{П1}} = \frac{12 \cdot (m_{\text{в}} - m_{\text{гр}}(1 + \mathcal{G}_{\text{гр}}^2)) \cdot (m_{\text{в}} + m_{\text{гр}} \cdot \mathcal{G}_{\text{гр}}^2)}{m_{\text{с}}}, \quad (2.7)$$

где $m_{\text{в}}$ – средняя величина отправляемого состава, *ваг*;

$m_{\text{гр}}$ – средняя величина поступающей группы, *ваг*;

$\mathcal{G}_{\text{гр}}^2$ – коэффициент вариации величины группы.

Схема П2 характерна для сборных, а также вывозных и передаточных поездов, которые отправляются по расписанию; схема П3 – для составов вывозных и передаточных поездов, которые формируются из вагонопотока маломощных назначений, когда строгое соблюдение расписания отправления нецелесообразно.

При накоплении составов к определенному моменту времени, величина замыкающей группы равняется средней величине групп, которые прибывают. Это следует из того, что определяется накопление составов по схеме П2 время отправления поезда, а не величина состава, как в схеме П1.

Для схемы П2 вагоно-часы накопления всех составов данного назначения, согласно [41], определяются

$$W_{\text{П2}} = \frac{12 \cdot (N - n_{\text{в}}^{\text{н}} m_{\text{гр}}) \cdot (N + n_{\text{в}}^{\text{н}} \cdot m_{\text{гр}} \cdot \mathcal{G}_{\text{гр}}^2)}{N \cdot n_{\text{в}}^{\text{н}}}, \quad (2.8)$$

где $n_{\text{в}}^{\text{н}}$ – число ниток графика, предусмотренных для отправления поездов данного назначения.

Для схемы П3 вагоно-часы накопления всех составов данного назначения [41] определяются

$$W_{\text{ПЗ}} = \frac{12 \cdot \alpha_p (m_b^H - m_{\text{гр}}) \cdot (m_b^H + m_{\text{гр}} \cdot g_{\text{гр}}^2)}{m_b^H} + \frac{6 \cdot (1 - \alpha_p) \cdot [2m_b^H - m_{\text{гр}} \cdot (1 + g_{\text{гр}}^2)] \cdot [2m_b^H + m_{\text{гр}} (1 + 3g_{\text{гр}}^2)]}{2m_b^H + m_{\text{гр}} \cdot (1 + g_{\text{гр}}^2)}, \quad (2.9)$$

где α_p – доля поездов, которые отправляются по расписанию;

m_b^H – расчетная норма, до которой накапливается определенный состав, *ваг*.

Общее в схемах П1, П2, П3 то, что при формировании поездов допускаются значительные колебания веса и длины составов.

Частично прерывный процесс также имеет разновидности [42]:

– схема Ч1 - накопление составов происходит до расчетной величины, которая удовлетворяет условию полновесности (полносоставности) поезда. Не допускается колебания числа вагонов в составе;

– схема Ч2 - накопление составов происходит до расчетной величины, которая удовлетворяет условию полновесности (полносоставности) поезда. При этом величина состава колеблется в пределах, которые указаны в ПФП.

Схема Ч1 используется при накоплении составов до определенной длины или веса, когда на них накладываются существенные ограничения. Накопление составов по этой схеме - по существу, непрерывный процесс, который почти не встречается в практике.

Схема Ч2 типична при накоплении составов сквозных и участковых назначений, когда поезд может быть отправлен или полновесным, или полносоставным с незначительным превышением или занижением расчетной величины состава. По затратам вагоно-часов она занимает промежуточное положение между схемами Ч1 и П1. Для схемы Ч2 вагоно-часы накопления всех составов данного назначения, в соответствии с [41], определяются

$$W_{\text{Ч2}} = \frac{12}{\beta} \cdot (m_b^H + 2m_{\text{гр}} \cdot g_{\text{гр}}^2) \frac{2m_b^H - m_{\text{гр}} (1 + g_{\text{гр}}^2)}{2m_b^H + m_{\text{гр}} (1 - g_{\text{гр}}^2)}. \quad (2.10)$$

Отправление поездов полновесными или полносоставными, а также тяжело-весных и длинносоставных позволяет оперативно влиять на процесс накопления для сокращения затрат вагоно-часов. За счет того, что завершающая группа в среднем больше группы, которая необходима для завершения накопления состава, диспетчерский аппарат станции в каждом конкретном случае решает вопрос о том, сколько вагонов из этой группы можно включить в данный состав.

Использование вышеприведенных формул в оперативном режиме невозможно, в связи с отсутствием критерия для принятия решения по выбору дальнейшего варианта организации вагонопотоков. Кроме этого, процессу поступления вагонов на станцию свойственна значительная неравномерность, степень влияния которой на затраты вагоно-часов накопления отдельного состава требует исследований. Отсюда возникает вопрос исследования влияния неравномерности поступления вагонов на показатели работы станций.

На организацию вагонопотоков в поезда существенно влияют следующие факторы:

- случайный процесс поступления вагонов;
- наличие ограничений перерабатывающей возможности станций;
- наличие ограничений пропускной способности станций.

Важнейшим фактором, который влияет на эксплуатационную деятельность железных дорог, является неравномерность поступления вагонов. Рядом ученых [43-46] установлено, что поступление вагонов на станцию характеризуется значительной неравномерностью. Для перевозочного процесса характерная сезонная, суточная и внутрисуточная неравномерность вагонопотоков.

Для исследования влияния неравномерности поступления вагонов на вагоно-часы накопления отдельного одnogруппного состава для станций А и В была выполнена обработка накопительных сведений за полугодовой период для назначений с разной мощностью вагонопотока (от 118 до 272 *ваг/сутки*).

В качестве примера на рисунке 2.8 приведена гистограмма распределения вагоно-часов простоя под накоплением отдельного одnogруппного состава для ваго-

но потока мощностью 200 *ваг/сутки* на станции А. Данная гистограмма получена на основе обработки результатов статистических данных за 2018 год.

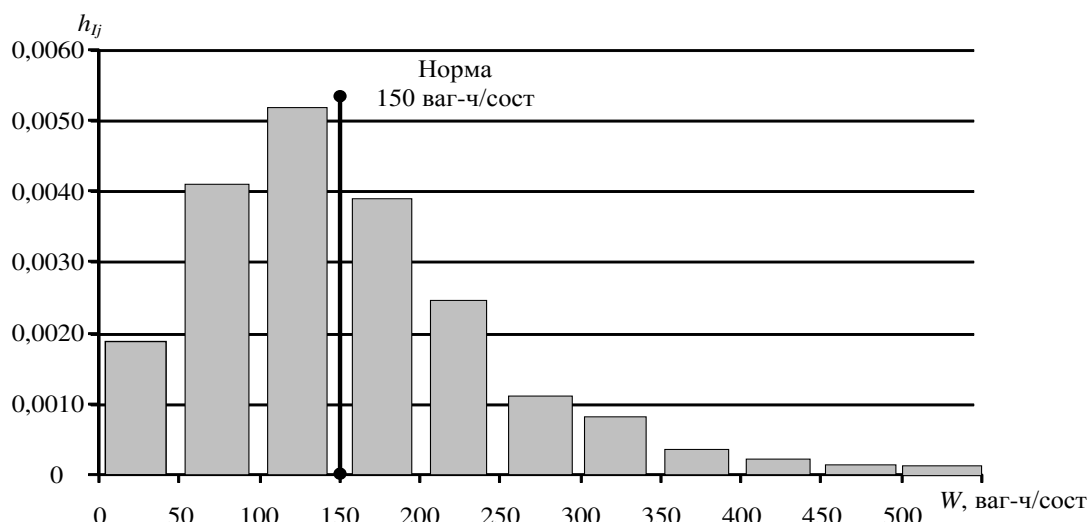


Рисунок 2.8 – Распределение вагоно-часов простоя под накоплением отдельного состава на станции А

На рисунке 2.9 приведена гистограмма распределения вагоно-часов простоя под накоплением отдельного одногруппного состава для вагонопотока мощностью 200 *ваг/сутки* на станции В.

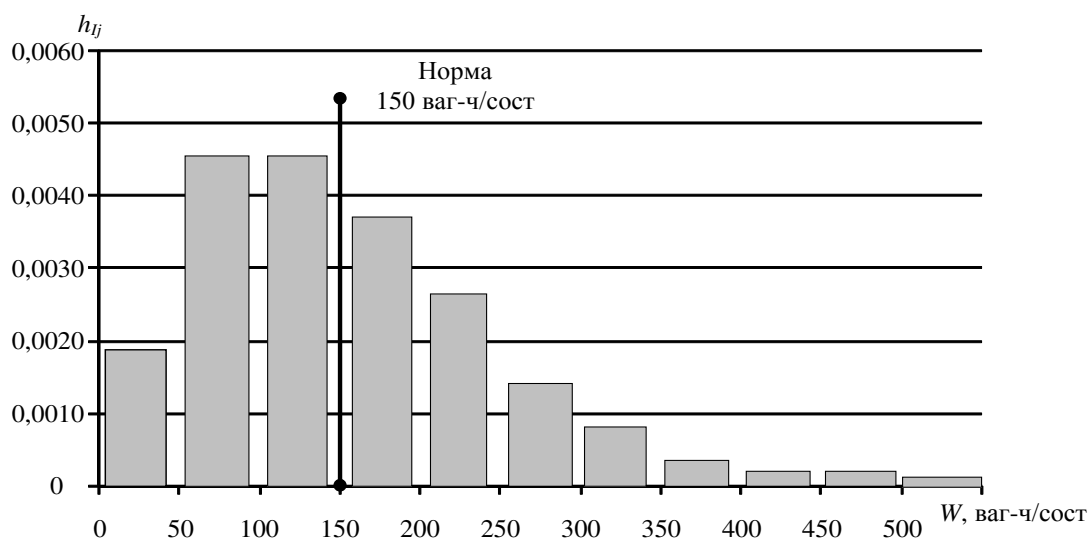


Рисунок 2.9 – Распределение вагоно-часов простоя под накоплением отдельного состава на станции В

Также на рис. 2.8 и рис. 2.9 приведена норма вагоно-часов накопления одного одногруппного состава, которая может быть определена как

$$W = \frac{cm}{n_{\text{сут}}} , \quad (2.11)$$

где c – параметр накопления;

m – количество вагонов в составе поезда;

$n_{\text{сут}}$ – количество сформированных поездов за сутки.

Учитывая что количество сформированных поездов за сутки составляет

$$n_{\text{сут}} = \frac{N}{m}, \text{ выражение (2.11) будет выглядеть } W = \frac{cm^2}{N}.$$

Таким образом, для $N=200$ *ваг/сутки*, $m=50$ *ваг*, $c=12$, норма вагоно-часов накопления одного одnogруппного состава составляет 150 *ваг-ч/сост*. Эта величина является составляющей длительности нахождения на станции транзитного вагона с переработкой - нормативного показателя работы станции.

На рис.2.8 и рис.2.9 видно, что достаточно большая часть составов (более 42%) превышает норму простоя.

Выполненный анализ показателей, связанных с организацией вагонопотоков, выявил, что для выполнения заданий относительно рационализации ПФП и сокращения оборота вагона необходимо разработать мероприятия относительно сокращения вагоно-часов простоя и продолжительности накопления составов. Одним из возможных и достаточно эффективных мероприятий есть оперативное формирование двугруппных поездов на базе попутных одnogруппных назначений в пределах существующего ПФП. При этом формирование отдельного двугруппного поезда должно происходить на основе определенных критериев эффективности, учитывать оперативную ситуацию на технических станциях железнодорожного направления и учитывать прогноз поступления вагонов на попутные назначения ПФП.

3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИЙ С ДВУГРУППНЫМИ ПОЕЗДАМИ НА ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

3.1 Техничко-эксплуатационная характеристика технических станций направления А-В-С

В дипломной работе рассматривается железнодорожное направление, в состав которого входят технические станции А, В, С. Железнодорожное направление приведено на рисунке 3.1.

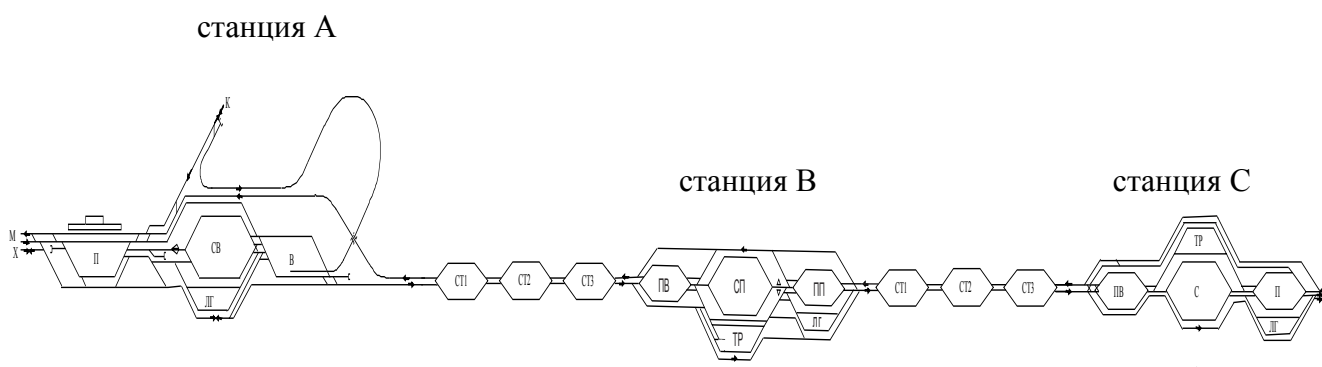


Рисунок 3.1 – Железнодорожное направление А-В-С

Для решения поставленной задачи рационального формирования одногруппных и двухгруппных поездов попутных назначений необходимо иметь характеристику и параметры этих станций.

Станции А, В, С являются сортировочными односторонними. Основное направление перерабатываемых вагонопотоков условно принято нечетным.

На станциях А и С парки расположены последовательно: парк приема (П), сортировочно-отправочный (СВ) и отправления (В).

На станции В - комбинированное расположение парков: приемо-отправочный (ПВ), сортировочный (С), транзитный (ТР) и приема (П).

Станция А - односторонняя сортировочная станция, где парки расположены последовательно: парк приема (П), сортировочно-отправочный (СВ) и парк отправления (В).

Парк приема станции А имеет 12 путей для приема четных и нечетных грузовых поездов и приема и отправления пассажирских поездов четного и нечетного направлений.

Сортировочно-отправочный парк (СВ) имеет 24 пути для накопления в соответствии с планом формирования поездов и отправления грузовых поездов нечетного направления. Для расформирования-формирования на станции существует механизированная горка средней мощности с одним путем надвига, тремя тормозными позициями, замедлителями типа КВ-3 и РНЗ-2. Горка оборудована устройствами ГАЦ, АЗСР и фотоэлектрическими устройствами. Параллельно парку приема расположено локомотивное хозяйство.

Парк отправления состоит из 8 путей для отправления грузовых поездов нечетного направления.

На станции выполняется прием, отправление, пропуск грузовых поездов, расформирование, накопление и формирование составов, изменение, ремонт и экипировка поездных локомотивов, техническое обслуживание и коммерческий осмотр вагонов. Также выполняется прием и отправление пассажирских поездов и обслуживание пассажиров.

Для детального анализа технологического процесса обслуживания поездов разных категорий рассмотрим станцию В.

Станция В - односторонняя сортировочная станция с комбинированным расположением трех парков: приемо-отправочный (ПВ), сортировочный (С), транзитные (ТР1 и ТР2) и приема (П).

Приемо-отправочный парк станции В состоит из 9 путей для приема и отправления четных и нечетных грузовых поездов. Парк приема состоит из 7 путей для приема поездов со всех подходов. Сортировочный парк состоит из 32 путей для накопления вагонов в соответствии с планом формирования составов. Минимальная длина сортировочных путей составляет 936 метра, максимальная - 1189 метра, которые отвечают типовым полезным длинам для формирования поезда.

Для расформирования-формирования на станции существует механизированная горка средней мощности с двумя путями надвига, тремя тормозными позициями, замедлителями типа КВ-3 и РНЗ-2. Горка оборудована устройствами ГАЦ, АЗСР и фотоэлектрическими устройствами. Параллельно парку приема расположено локомотивное хозяйство.

Транзитный парк ТР1 состоит из 5 путей для приема и отправления транзитных поездов нечетной системы, отправления нечетных поездов своего формирова-

ния. Транзитный парк ТР2 включает в себя 11 путей, которые предназначены для приема и отправления транзитных поездов, составов углового вагонопотока, а также пассажирских поездов. На станции выполняется прием, отправление, пропуск грузовых поездов, расформирование, накопление и формирование составов, смена, ремонт и экипировка поездных локомотивов, техническое обслуживание и коммерческий осмотр вагонов.

Транзитные грузовые поезда принимаются в транзитный парк соответствующего направления станции В (ТР1 или ТР2), где выполняется осмотр бригадами пунктов технического обслуживания (ПТО) и коммерческого осмотра вагонов (ПКО). Осуществляется устранение неисправностей вагонов на путях парка и перестановка в МВРП при необходимости отцепочного ремонта. Предусматривается смена локомотивов и локомотивных бригад в порядке, установленном технологическим процессом станции.

Поезда, которые прибывают в переработку, прибывают в парк приема станции В, где происходит закрепление состава и отцепка поездного локомотива, после чего производится осмотр состава бригадами ПТО и ПКО. Горочный маневровый локомотив осуществляет надвиг и роспуск состава на горке по сортировочному листку.

На путях сортировочного парка выполняется накопление составов соответствующих назначений. Операции по окончанию формирования составов включают: соединение групп вагонов, которые накапливаются на разных путях, постановку вагонов прикрытия, перестановку отдельных групп вагонов с целью пополнения или снижения веса, проверку совпадения продольных осей автосцепок согласно ПТЕ. Они выполняются локомотивами, которые работают на вытяжных путях. Параллельно с этим в станционном технологическом центре (СТЦ) составляют натурный лист, осуществляют подбор и конвертирование грузовых документов на поезд, который формируется. Далее состав переставляется в парк ПВ, где с ним выполняются операции по техническому осмотру, текущему безотцепочному ремонту вагонов, коммерческому осмотру вагонов и устранение неисправностей, передача документов локомотивной бригаде, прицепка поездного локомотива, опробование автотормозов и отправление поезда со станции.

3.2 Организация вагонопотоков на железнодорожном направлении

3.2.1. Технология работы железнодорожного направления

На головной станции А, которая находится на железнодорожном направлении А-В-С, возможно два варианта организации вагонопотоков в поезда (рисунок 3.2):

– вариант 1 - предусматривает формирование отдельных одногруппных поездов назначениям В и С;

вариант 2 - предусматривает формирование двугруппных поездов, в состав которых входят вагоны попутных назначений В и С.

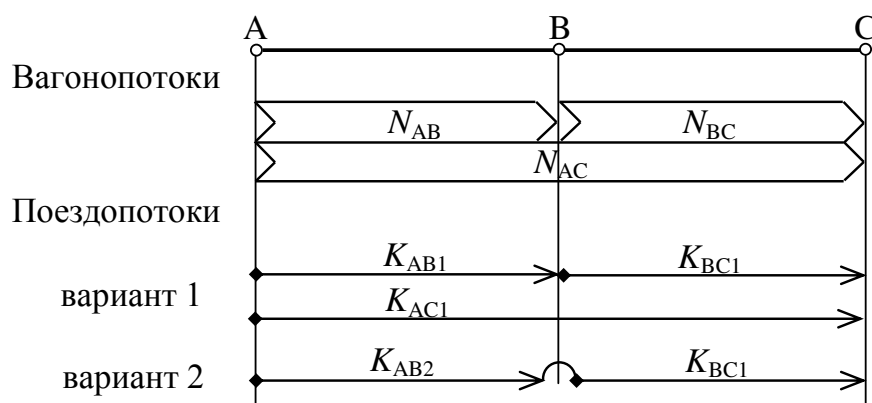


Рисунок 3.2 – Организация вагонопотоков на железнодорожном направлении в оперативных условиях.

При организации вагонопотоков по варианту 1 на станции А формируются отдельные одногруппные составы на каждое из попутных назначений В и С. После накопления вагонов в сортировочном парке выполняются операции по окончанию формирования ($T_{зф}^{од}$). Далее, при помощи маневрового локомотива, сформированный состав переставляется в парк отправления ($t_{пер}$). В парке отправления с составом выполняется ряд технологических операций в соответствии с технологическим процессом работы станции по обслуживанию поездов соответствующей категории.

На станцию В, перед прибытием поезда, поступает информация о его категории, от чего зависит в какой парк будет принят поезд и технология работы с ним.

Состав, назначением на станцию В, принимается в парк приема. После его прибытия выполняются все технологические операции, которые предусмотрены для составов в расформирование, и состав расформировывается.

Состав, назначением на станцию С, принимается в парк ПО. В данном парке выполняются все технологические операции, которые предусмотрены для обслужи-

вания составов транзитных поездов со сменой или без смены локомотива. После выполнения необходимых операций состав отправляется на станцию С, где он прибывает в расформирование. Схематически технология работы железнодорожного направления при организации вагонопотоков по варианту 1 приведена на рисунке 3.3.

При организации вагонопотоков по варианту 2 на станции А из вагонов попутных назначений В и С формируется двугруппный состав. После накопления вагонов в сортировочном парке выполняются операции по окончанию формирования ($T_{зф}^{ДВ}$). Далее, с помощью маневрового локомотива, сформированный состав переставляется в парк отправления ($t_{пер}$). В парке отправления с составом своего формирования выполняется ряд технологических операций в соответствии с технологическим процессом работы станции.

Двугруппный поезд на станции В принимается в приемо-отправочный парк для выполнения операций по обмену групп вагонов. При рассмотрении технологии работы на станции обмена групп вагонов различают следующие составляющие двугруппного поезда: ядро, отцепляемая группа вагонов (ОГВ), прицепляемая группа вагонов (ПГВ).

При получении информации о прибытии двугруппного поезда на станции В в сортировочном парке готовится ПГВ. После окончания формирования ($T_{зф}^{ПГВ}$) ПГВ переставляется в приемо-отправочный парк. Прием двугруппного поезда происходит на свободный путь приемо-отправочного парка. После закрепления ОГВ ядро поезда, с помощью поездного или маневрового локомотива (зависит от необходимости смены локомотива), переставляется на путь, где находится ПГВ. Выполняется соединение групп вагонов и дальнейшая обработка состава поезда в соответствии с технологией работы станции. После выполнения необходимых операций поезд отправляется на станцию С, где он поступает в расформирование. Схематически технология работы железнодорожного направления при организации вагонопотоков по варианту 2 приведена на рисунке 3.4.

Для возможности разработки имитационной модели организации вагонопотоков на отдельном железнодорожном направлении необходимо детально описать технологию работы и определить нормы времени на выполнение операций с каждой категорией поездов на технических станциях.

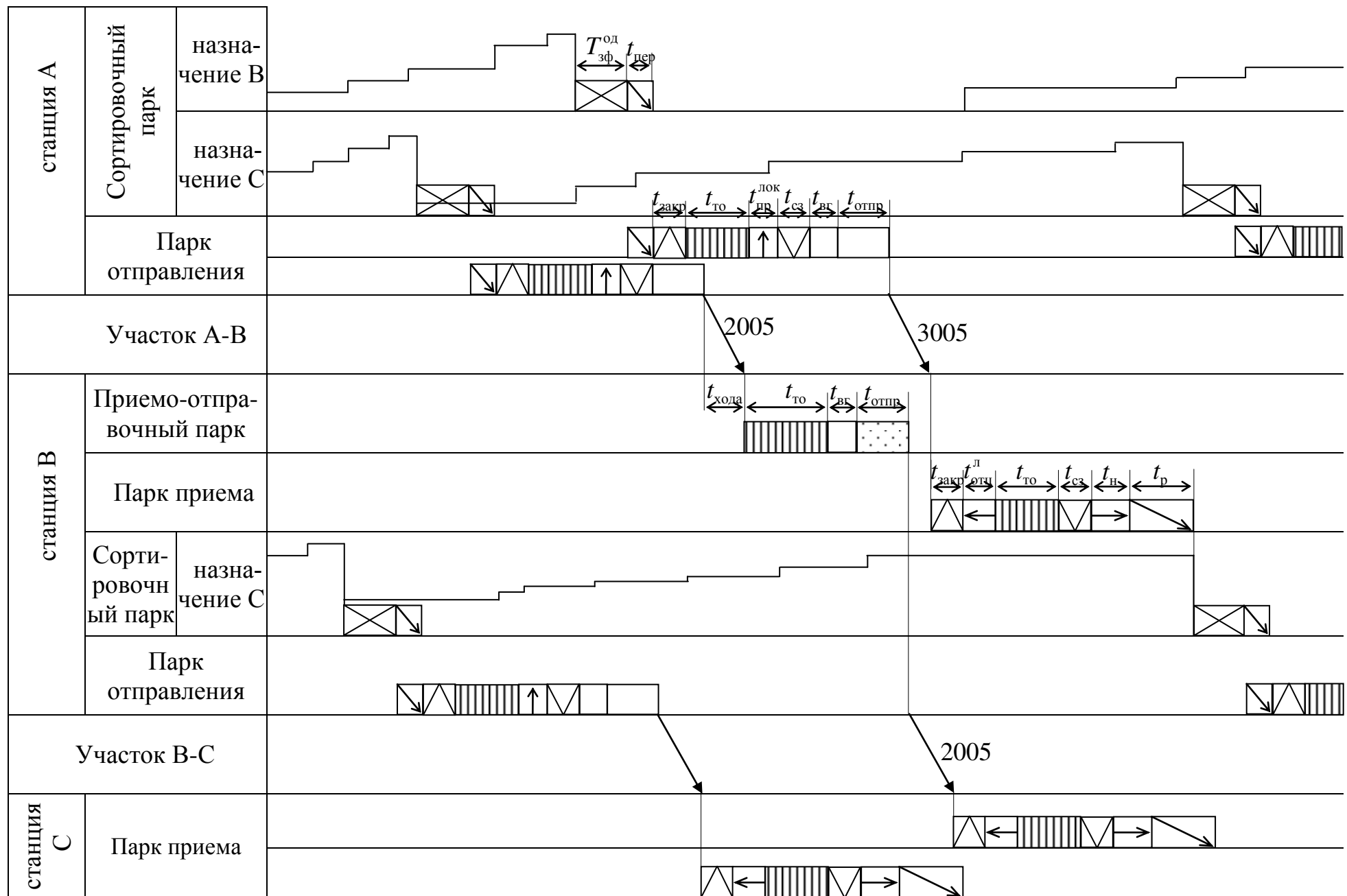


Рисунок 3.3 – Технология работы железнодорожного направления при организации вагонопотоков по варианту 1

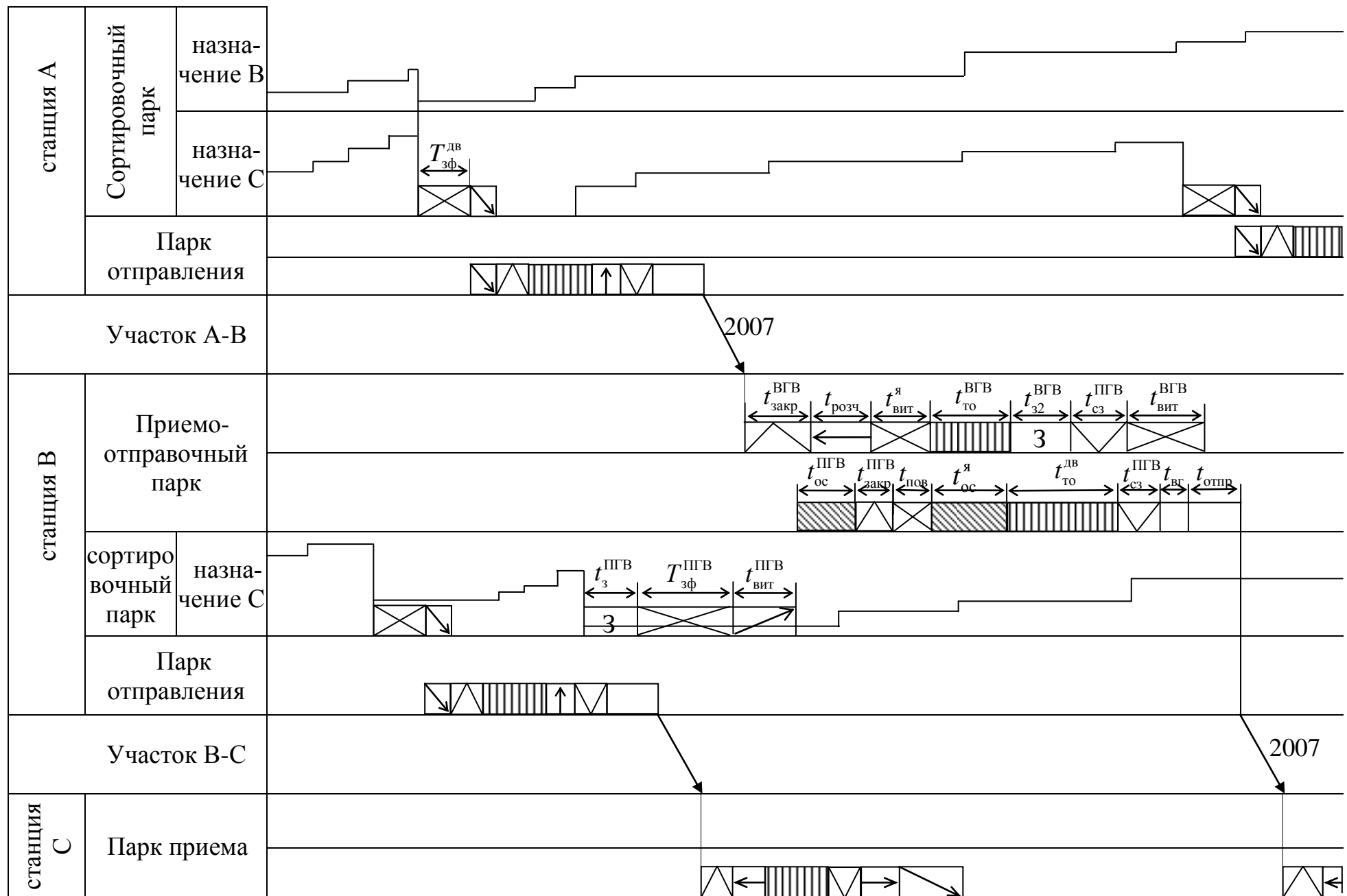


Рисунок 3.4 – Технология работы железнодорожного направления при организации вагонопотоков по варианту 2

3.2.2. Технология работы и нормирования продолжительности операций с поездами разных категорий, которые обслуживаются на технических станциях.

При накоплении вагонов на одном сортировочном пути, норма времени на окончание формирования одногруппного состава на вытяжном пути, согласно [47], определяется по формуле

$$T_{зф}^{1гр} = t_{ПТЕ} + t_{подт}, \text{ мин} \quad (3.1)$$

где $t_{ПТЕ}$ – технологическое время на выполнение операций, связанных с размещением вагонов согласно ПТЕ

$$t_{ПТЕ} = B + E n_{\phi}, \text{ мин} \quad (3.2)$$

где B, E – нормативные коэффициенты, значения которых зависят от среднего количества операций p_0 разъединения расформируемых вагонов в местах расхождений продольных осей автосцепок и постановки вагонов прикрытия;

n_{ϕ} – среднее количество вагонов, которые входят в состава поезд, который формируется, в соответствии с установленной нормой веса или длины состава, *ваг*;

$t_{подт}$ – технологическое время на подтягивание вагонов со стороны вытяжных путей для ликвидации «окон» на путях сортировочного парка

$$t_{подт} = 0,08 \cdot m, \text{ мин} \quad (3.3)$$

В случае, когда необходимо выполнить окончание формирования двугруппного состава из вагонов, которые накапливались на двух разных путях, используется следующая формула [47]

$$T_{зф}^{2гр} = t_{ПТЕ \text{ гол}} + t_{ПТЕ \text{ хв}} + t_{подт}, \text{ мин} \quad (3.4)$$

где $t_{\text{ПТЕ гол}}$ – технологическое время на выполнение операций, связанных с размещением вагонов согласно ПТЕ для головной группы вагонов, *мин*;

$t_{\text{ПТЕ хв}}$ – технологическое время на выполнение операций, связанных с размещением вагонов согласно ПТЕ для хвостовой группы вагонов, *мин*.

Величины $t_{\text{ПТЕ гол}}$ и $t_{\text{подт}}$ по формулам (3.2) и (3.3) соответственно. Значение величины $t_{\text{ПТЕ хв}}$, в соответствии с [47], возможно определить с помощью формулы

$$t_{\text{ПТЕ хв}} = \mathcal{K} + In_{\phi}, \text{ мин} \quad (3.5)$$

где \mathcal{K} , I – нормативные коэффициенты, значения которых зависят от среднего количества операций разъединения вагонов p_0 и затрат времени на перестановку хвостовой части состава на путь сбора.

После окончания формирования состава маневровый диспетчер, в соответствии с планом отправления поездов, дает дежурному по станции задание на перестановку сформированного состава. Перестановка состава в парк отправления выполняется маневровым локомотивом.

Продолжительность перестановки состава на путь парка отправления определяется суммированием времени выполнения отдельных полурейсов, из которых состоит процесс перестановки. Длительность отдельного полурейса, в соответствии с [47], определяется по формуле

$$t_{\text{п/р}} = \frac{(\alpha_{\text{рт}} + \beta_{\text{рт}} \cdot m_{\text{п/р}}) \cdot \frac{V}{2} + \frac{3,6 \cdot l_{\text{п/р}}}{V}}{60}, \text{ мин} \quad (3.6)$$

где $\alpha_{\text{рт}}$ – коэффициент, который учитывает время, необходимое для изменения скорости движения локомотива на 1 км/ч во время разгона, и время, необходимое для изменения скорости движения локомотива на 1 км/ч во время торможения, согласно [47] $\alpha_{\text{рт}} = 2,44 \text{ сек/(км/ч)}$;

$\beta_{\text{рт}}$ – коэффициент, который учитывает дополнительное время на изменение скорости движения каждого вагона в маневровом составе на 1 км/ч во время разгона и дополнительное время на изменение скорости движения каждого вагона в маневровом составе на 1 км/ч во время торможения, согласно [47] $\beta_{\text{рт}} = 0,1 \text{ сек}/(\text{км}/\text{ч})$;

V – допустимая скорость движения во время маневров, км/ч;

$l_{\text{п/р}}$ – длина полуреяса, м.

Длина полуреяса вытягивания для станций с последовательным расположением парков определяется с помощью выражения

$$l_{\text{вит}} = L_{\text{горл}} + L_{\text{гр}} = L_{\text{горл}} + n_{\text{ф}} l_{\text{ваг}}, \text{ м} \quad (3.7)$$

где $l_{\text{ваг}}$ – длина грузового вагона, $l_{\text{ваг}} = 15 \text{ м}$;

$L_{\text{горл}}$ – длина хвостовой горловины сортировочного парка, м.

Продолжительность возвращения маневрового локомотива $t_{\text{пов}}$ в сортировочный парк определяется суммированием времени выполнения отдельных полуреясов с применением формулы (3.6).

После перестановки состава из сортировочного парка в парк отправления, закрепления состава и отцепки маневрового локомотива, состав предъявляется к техническому обслуживанию. Порядок закрепления составов зависит от местных условий и устанавливается ТРА станции. Норматив времени на выполнение операции закрепления состава определяется, согласно [48], по формуле

$$t_{\text{закр}} = (0,08 + 0,015 \cdot l_{\text{прох}}) n_{\text{б}} + t_{\text{доп}}, \text{ мин} \quad (3.8)$$

где $l_{\text{прох}}$ – длина прохода состава, м;

$n_{\text{б}}$ – количество укладываемых тормозных башмаков;

$t_{\text{доп}}$ – время на подход к состава и доклад о выполнении, $t_{\text{доп}} = 1 \text{ мин}$.

Предъявленный к обслуживанию состав ограждается, выполняется технический осмотр и безотцепочный ремонт вагонов. После соединения тормозных рукавов, осмотра и необходимого ремонта тормозного оборудования вагонов осуществляется полное опробование автотормозов.

Продолжительность технического обслуживания поезда своего формирования, в соответствии с [48], определяется по формуле

$$t_{об}^{сф} = \frac{\tau m}{K_{гр}} + \alpha t_{рем} + t_{пз}, \text{ мин} \quad (3.9)$$

где τ – средняя продолжительность технического осмотра одного вагона, $\tau=1 \text{ мин}$;

$K_{гр}$ – количество групп осмотровиков в бригаде ПТО, определяется в соответствии с техпроцессом работы станции;

α – доля составов, требующих безотцепочного ремонта вагонов, $\alpha=0,4$;

$t_{рем}$ – среднее время выполнения безотцепочного ремонта вагонов, который приходится на один состав, $t_{рем} = 15 \text{ мин}$;

$t_{пз}$ – продолжительность подготовительно-заключительных операций, которая приходится на один состав, $t_{пз}=2 \text{ мин}$.

Значение величин α , $t_{рем}$ и $t_{пз}$ определены в результате обработки статистических данных, полученных на станциях А и В.

Расчеты норм времени на выполнение вышеперечисленных операций с поездами своего формирования для станций А и В приведены в таблице 3.1.

Время, необходимое на опробование тормозов от стационарной компрессорной установки $t_{вг}$ рассчитывается по формуле

$$t_{вг} = 3 + 0,14m, \text{ мин} \quad (3.10)$$

Величина $t_{вг}$ составляет: $3 + 0,14 \cdot 50 = 10 \text{ мин}$.

Одновременно с техническим осмотром и ремонтом вагонов проводится коммерческий осмотр состава и устраняют неисправности, которые угрожают целостности груза и безопасности движения поездов. Об окончании работ по обслуживанию состава извещаются операторы ПТО и ПКО, после чего снимают сигналы ограждения и сообщают дежурному по станции о готовности состава. После прицепки поездного локомотива осмотровики-ремонтники выполняют сокращенное опробование автотормозов.

Таблица 3.1 – Определение норм времени на выполнение операций с поездом своего формирования

Наименование операции	Обозначение	Продолжительность выполнения операции, мин		
		станция А		станция В
		однотупный поезд	двотупный поезд	однотупный поезд
Окончание формирования	$T_{3\phi}$	6+4=10 мин ($t_{ПТЕ} = 6$ мин при $B=1,44, E=0,09, n_{\phi}=50$ ваг; $t_{подт} = 4$ мин)	4+14+4=22 мин ($t_{ПТЕ\ гол} = 4$ мин при $B=1,44, E=0,09, n_{\phi}=25$ ваг; $t_{ПТЕ\ хв} = 14$ мин при $Ж=2,79, И=0,426, n_{\phi}=25$ ваг; $t_{подт} = 4$ мин)	5+4=9 мин ($t_{ПТЕ} = 5$ мин при $B=1,12, E=0,07, n_{\phi}=50$ ваг; $t_{подт} = 4$ мин)
Перестановка в парк отправления	$t_{пер}$	8 мин ($l_{выт} = 1768$ м, $V=15$ км/ч)		8 мин ($l_{выт} = 1702$ м, $V=15$ км/ч)
Закрепление	$t_{закр}$	5 мин ($l_{прох} = 20$ м, $n_6 = 10$)		5 мин ($l_{прох} = 25$ м, $n_6 = 8$)
Техническое обслуживание	$t_{об}^{сф}$	25 мин ($K_{гр}=3$)		25 мин ($K_{гр}=3$)
Возвращение маневрового локомотива	$t_{пов}$	6 мин ($t_{пов1}=1,1$ мин при $l_{пов1}=245$ м, $V=25$ км/ч; $t_{пов2}=4,8$ мин при $l_{пов2}=1770$ м, $V=25$ км/ч)		7 мин ($t_{пов1}=1,1$ мин при $l_{пов1}=225$ м, $V=25$ км/ч; ; $t_{пов2}=5,1$ мин при $l_{пов2}=1910$ м, $V=25$ км/ч)

Параллельно с этим оператор СТЦ заканчивает оформление натурального листа и вместе с пакетом перевозочных документов пересылает в парк отправления, где проводится их вручение локомотивной бригаде.

Опыт работы железных дорог свидетельствует о наличии межоперационных ожиданий, в связи с чем увеличиваются простой вагонов и локомотивов на станции. На основе статистической обработки результатов натурных наблюдений была получена величина длительности ожидания окончания формирования $t_{оч}^{3\phi}$ и суммарная величина межоперационных простоев в парке отправления $\sum t_{оч}^B$. Для станции А $t_{оч}^{3\phi} = 14,5$ мин, $\sum t_{оч}^B = 23,5$ мин. Для станции В $t_{оч}^{3\phi} = 18$ мин, $\sum t_{оч}^B = 26$ мин.

Тогда общее время простоя поезда любой категории на станции определяется по формуле

$$t_{\text{заг}} = \sum t_{\text{опер}} + \sum t_{\text{оч}}, \text{ мин} \quad (3.11)$$

где $\sum t_{\text{опер}}$ – общая продолжительность выполнения технологических операций с поездом соответствующей категории, мин.

Для поезда своего формирования длительность выполнения технологических операций составляет $\sum t_{\text{опер}} = 70$ хв. Таким образом, общее время простоя поезда своего формирования на станции А от момента начала операции окончания формирования поезда до момента отправления его со станции составляет (3.11):

$$t_{\text{сф}} = 70 + 14,5 + 23,5 = 108 \text{ мин.}$$

Для станции В общее время простоя поезда своего формирования от момента начала операции окончания формирования поезда до момента отправления его со станции составляет (3.11):

$$t_{\text{сф}} = 70 + 18 + 26 = 114 \text{ мин.}$$

3.2.3. Технология работы и нормирование операций с поездами, которые прибывают в расформирование на станцию В.

При подходе поезда дежурный по станции извещает работников СТЦ, пунктов технического обслуживания и коммерческого осмотра вагонов о номере поезда, пути приема и времени его прибытия. Состав, который прибыл в расформирование, закрепляют тормозными башмаками, после чего отцепляют поездной локомотив и ограждают с помощью специальных устройств.

В процессе подготовки состава к расформированию рабочие ПТО выполняют отпуск тормозов вагонов. Обнаруживают вагоны с неисправностями, которые должны быть устранены в пункте отцепочного ремонта. Вагоны, которые могут быть отремонтированы за сравнительно короткое время в пункт не подаются, а выявленные у них неисправности устраняются на протяжении времени подготовки состава к отправлению в парке отправления. Поездной локомотив по ходовому пути подается в локомотивное хозяйство. Параллельно с техническим осмотром выполняется осмотр вагонов в коммерческом отношении для выявления коммерческих неисправностей, которые угрожают безопасности движения и сохранности вагонов и грузов.

Продолжительность технического осмотра состава в парке приема, в соответствии с [48], определяется по формуле

$$t_{об}^p = \frac{\tau m}{K_{гр}} + t_{пз}, \text{ мин} \quad (3.12)$$

В соответствии с [49] в парке приема работает одна двугруппная бригада технического осмотра вагонов. Следовательно

$$t_{об}^p = \frac{1 \cdot 50}{2} + 2 = 27 \text{ мин.}$$

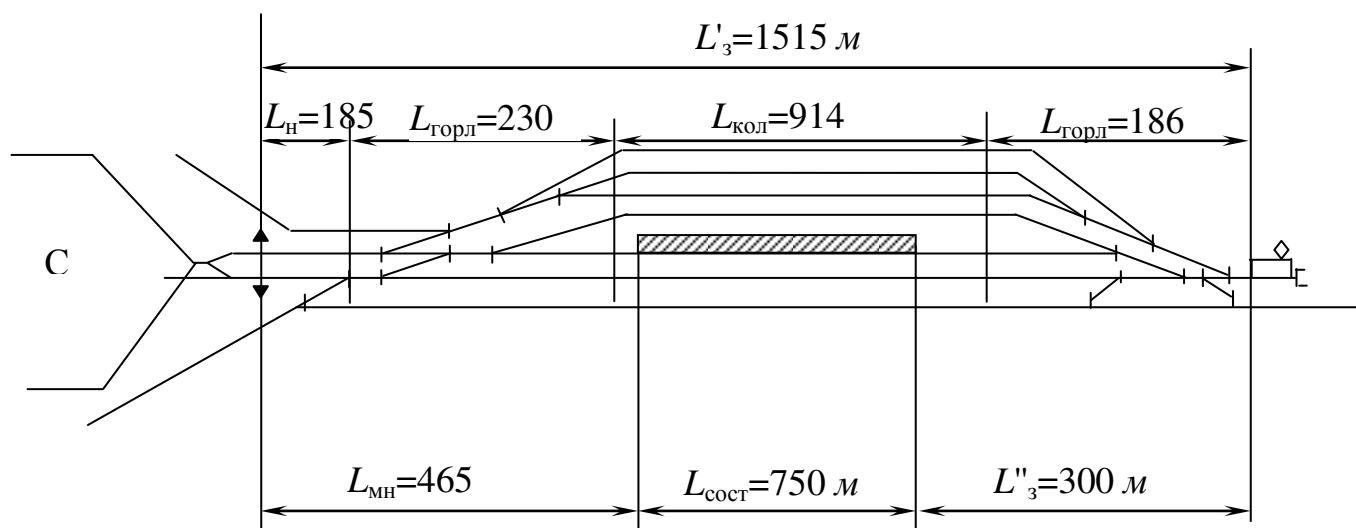
По окончании технического обслуживания и коммерческого осмотра состава выполняется снятие ограждения, после чего оператор ПТО сообщает дежурному по станции об окончании осмотра состава. По приказу ДСЦ под состав подается горочный локомотив. Дежурный по горке, ознакомившись с сортировочным листком, извещает всех причастных работников о плане роспуска и дает разрешение машинисту на надвиг состава. После уборки тормозных башмаков и открытия горочного сигнала осуществляется надвиг и роспуск состава на сортировочной горке.

После окончания роспуска дежурный по горке в случае необходимости дает указание машинисту горочного локомотива на выполнение осаживания вагонов на путях сортировочного парка или на следование в парк приема для надвига следующего состава на горку.

Для каждой горки устанавливается порядок и среднее время выполнения основных технологических операций. Технологическое время на расформирование состава с горки состоит из времени заезда горочного локомотива под состав (t_3), надвига состава на горку ($t_{нас}$), роспуска состава с горки ($t_{роз}$), осаживания вагонов на путях сортировочного парка ($t_{ос}$):

$$T_p = t_3 + t_{нас} + t_{роз} + t_{ос}, \text{ мин} \quad (3.13)$$

Продолжительность выполнения приведенных операций зависит от длины маршрутов перемещения локомотива, которые приведены на рисунке 3.5.



Условные обозначения:

L'_3, L''_3 – длины полурейсов заезда;

$L_{КОЛ}$ – средняя полезная длина пути приема;

$L_{сост}$ – средняя длина состава формируемого грузового поезда;

$L_Н$ – длина пути надвига;

$L_{Горл}$ – длина горловины парка;

$L_{МН}$ – длина маршрута надвига.

Рисунок 3.5 – Расчетная схема определения длин полурейсов при расформировании состава.

Продолжительность заезда маневрового локомотива под состав в парк приема рассчитывается по формуле

$$t_3 = t'_3 + t''_3 + t_{\text{пд}}, \text{ мин.}$$

где t'_3, t''_3 – соответственно продолжительность полурейсов заезда маневрового локомотива от вершины горки за горловину парка прибытия и обратно к концу состава, мин;

$t_{\text{пд}}$ – время на смену направления движения маневрового локомотива, в соответствии с [47] для маневровых тепловозов $t_{\text{пд}} = 0,15$ мин.

Продолжительность полурейсов заезда маневрового локомотива t'_3 и t''_3 зависит от их длины и определяется с помощью выражения (3.6):

$$t'_3 = \frac{(2,44 + 0,1 \cdot 0) \cdot \frac{25}{2} + \frac{3,6 \cdot 1515}{25}}{60} = 4,1 \text{ мин.}$$

$$t''_3 = \frac{(2,44 + 0,1 \cdot 0) \cdot \frac{25}{2} + \frac{3,6 \cdot 300}{25}}{60} = 1,2 \text{ мин.}$$

Следовательно, время заезда маневрового локомотива под состав составляет $t_3 = 4,1 + 1,2 + 0,15 = 5,5 \text{ мин.}$

Продолжительность надвига состава на горку определяется по формуле

$$t_{\text{нас}} = \frac{0,06 L_{\text{МН}}}{V_{\text{нас}}}, \text{ мин} \quad (3.14)$$

где $V_{\text{нас}}$ — средняя скорость надвига состава на горку, $V_{\text{нас}} = 7,5 \text{ км/ч.}$

$$t_{\text{нас}} = \frac{0,06 \cdot 465}{7,5} = 3,7 \text{ мин.}$$

Продолжительность роспуска состава с горки, согласно [47], рассчитывается по формуле

$$t_{\text{роз}} = t'_{\text{роз}} + t''_{\text{роз}}, \text{ мин} \quad (3.15)$$

где $t'_{\text{роз}}$ — время на роспуск состава с горки, без учета дополнительного времени на маневры с вагонами, которые запрещены к спуску с горки без локомотива, мин;

$t''_{\text{роз}}$ — увеличение времени роспуска на маневры с вагонами, которые запрещены к спуску с горки без локомотива, мин.

Продолжительность роспуска состава с горки $t'_{\text{роз}}$ определяется с помощью выражения

$$t'_{\text{роз}} = \frac{0,06 l_{\text{ваг}} m}{V_{\text{роз}}} \left(1 - \frac{1}{2g_0} \right), \text{ мин}$$

где $V_{\text{роз}}$ – средняя расчетная скорость роспуска состава, км/ч;

g_0 – число отцепов в составе.

Расчетная скорость роспуска состава на сортировочной горке $V_{\text{роз}}$ зависит от среднего количества вагонов в отцепе. По результатам обработки статистических данных среднее число отцепов в составе равно 12. Следовательно при $m=50$ ваг и $g_0=12$ среднее количество вагонов в отцепе равно 4,2. В соответствии с [47] для механизированной сортировочной горки и при наличии вагонных замедлителей на сортировочных путях $V_{\text{роз}}=8,91$ км/ч. Отсюда:

$$t'_{\text{роз}} = \frac{0,06 \cdot 15 \cdot 50}{8,91} \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 12} \right) = 4,8 \text{ мин.}$$

$$t'_{\text{роз}} = \frac{0,06 \cdot 15 \cdot 50}{8,91} \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 12} \right) = 4,8 \text{ мин.}$$

Увеличение времени роспуска на маневры с вагонами, которые запрещены к спуску с горки без локомотива, в соответствии с [47], возможно определить по формуле

$$t''_{\text{роз}} = b_{\text{зсг}} \cdot t_{\text{п зсг}}, \text{ мин}$$

где $b_{\text{зсг}}$ – доля составов с вагонами, которые запрещены к спуску с горки без локомотива, от общего количества расформируемых составов;

$t_{\text{п зсг}}$ – время на маневры с вагонами, которые запрещены к спуску с горки без локомотива, приходящееся на один состав, мин.

Время на маневры с вагонами, которые запрещены к спуску с горки без локомотива, зависит от числа указанных вагонов и их взаимного расположения в составе, что характеризуется числом групп $K_{\text{зсг}}$. На основе обработки статистических данных установлено, что доля составов с вагонами, которые запрещены к спуску с горки без локомотива, составляет $b_{\text{зсг}}=0,27$, а $K_{\text{зсг}}=1,5$. Отсюда, в соответствии с [47], $t_{\text{п зсг}}=6$ мин. Таким образом время роспуска состава с горки, по формуле (3.15), составляет $t_{\text{роз}}=4,8+6=10,8$ мин.

Технологическое время на осаживание вагонов, в соответствии с [47], определяется по формуле

$$t_{oc} = 0,06t, \text{ мин.} \quad (3.16)$$

Таким образом продолжительность осаживания вагонов составляет:

$$t_{oc} = 0,06 \cdot 50 = 3 \text{ мин.}$$

Тогда общее время расформирования состава составляет:

$$T_p = 5,5 + 3,7 + 10,8 + 3 = 23 \text{ мин.}$$

При этом продолжительность работы горочного локомотива составляет:

$$t_{лр} = T_p + t_{закр} = 23 + 5 = 28 \text{ мин.}$$

Общая продолжительность выполнения технологических операций в парке приема составляет $\sum t_{опер} = 58 \text{ мин.}$ На основе статистической обработки результатов натурных наблюдений была получена суммарная величина межоперационных простоев в парке приема $\sum t_{оч}^п = 14 \text{ мин.}$

Таким образом, по формуле (3.11) общее время простоя поезда, который прибыл в переработку, на станции от момента прибытия до окончания расформирования составляет:

$$t_{заг} = 58 + 14 = 72 \text{ мин.}$$

3.2.4. Технология работы и нормирование операций с транзитными поездами на станции В.

К транзитным поездам относят поезда, которые проходят станцию без переработки или с частичной переработкой (изменение веса или длины поезда).

Транзитные поезда принимаются в транзитный парк соответствующего направления. При подходе поезда дежурный по станции извещает работников СТЦ, пунктов технического обслуживания и коммерческого осмотра вагонов о номере поезда, пути приема и времени его прибытия. Порядок закрепления составов устанавливается ТРА в зависимости от местных условий.

Обработка транзитного поезда состоит из:

- технического обслуживания состава и пробы автотормозов;
- коммерческого осмотра состава и устранения коммерческих неисправностей;
- смены локомотива или локомотивной бригады.

Коммерческий осмотр состава происходит одновременно с техническим обслуживанием.

Продолжительность технического обслуживания состава транзитного поезда, согласно [48], определяется по формуле

$$t_{об}^{тр} = \frac{\tau m}{K_{тр}} + \alpha t_{рем} + t_{пз} + t_{вг}^c, \text{ мин} \quad (3.17)$$

где α – доля составов, требующих безотцепочного ремонта вагонов, $\alpha=0,2$;

$t_{вг}^c$ – продолжительность сокращенной пробы автотормозов, $t_{вг}^c = 5 \text{ мин}$.

Обслуживание транзитных поездов на станции В происходит бригадами ПТО, которые состоят из двух групп. Следовательно, время технического обслуживания составляет:

$$t_{об}^{тр} = \frac{1 \cdot 50}{2} + 0,2 \cdot 15 + 2 + 5 = 35 \text{ мин}.$$

Перед отправлением поездов дежурный по станции удостоверяется в готовности поезда в техническом и коммерческом отношениях. После прицепки локомотива осмотрщики-автоматчики выполняют пробу автотормозов, заполняют справку о состоянии тормозов и вручают ее машинисту локомотива.

При смене локомотивных бригад (без смены локомотива) параллельно с техническим и коммерческим осмотрами локомотивная бригада принимает локомотив и перевозочные документы непосредственно от локомотивной бригады, которая прибыла, и выполняет пробу автотормозов. Прием и сдача локомотива и перевозочных документов заверяется подписями в маршрутах машинистов с указанием времени оформления и передачи.

Продолжительность выполнения технологических операций для транзитного поезда без смены локомотива составляет $\sum t_{опер} = 46 \text{ мин}$. Суммарная величина межоперационных простоев составляет $\sum t_{оч}^{пв} = 26 \text{ мин}$.

Таким образом, общее время простоя транзитного поезда без смены локомотива на станции В от момента прибытия до момента отправления составляет:

$$t_{\text{тр}}^{\text{бз}} = 46 + 26 = 72 \text{ мин.}$$

Продолжительность выполнения технологических операций для транзитного поезда со сменой локомотива составляет $\sum t_{\text{опер}} = 57 \text{ мин.}$ Суммарная величина межоперационных простоев (с учетом ожидания поездного локомотива) составляет $\sum t_{\text{оч}}^{\text{пв}} = 45 \text{ мин.}$

Таким образом, общее время простоя транзитного поезда со сменой локомотива на станции В от момента прибытия до момента отправления составляет:

$$t_{\text{тр}}^{\text{зм}} = 57 + 45 = 102 \text{ мин.}$$

3.2.5. Технология работы и нормирование операций с двугруппными поездами на станции В.

Двугруппным называется поезд, в состав которого входят подобранные в отдельные группы вагоны двух назначений. При этом различают ядро ($m_{\text{я}}$) постоянной массы из вагонов дальнего назначения, которые следуют транзитом через станцию перелома, и группу отцепки ($m_{\text{в}}$) из вагонов назначением на станцию перелома массы.

Для сортировочной станции В возможны два варианта работы с двугруппными поездами.

При первом варианте двугруппные поезда, которые имеют в своем составе группу вагонов назначением на станцию С (ядро) и группу вагонов назначением на станцию В, принимаются в парк приема. В этом случае с поездом выполняются те же операции, что и с поездом, который прибыл в расформирование. Вагоны ядра поезда также подлежат переработке на сортировочной горке с дальнейшим накоплением вагонов назначением С на соответствующем пути сортировочного парка и постановку их в поезда своего формирования. При этом может возникнуть 2 случая (см. рисунок 3.6):

- $R_{\text{вс}} + m_{\text{я}} < m$ – в таком случае продолжается процесс накопления;
- $R_{\text{вс}} + m_{\text{я}} \geq m$ – принимается решение о формировании одногруппного состава на назначение С.

Маневровая работа с двугруппным поездом в парке приема включает операции заезда горочного локомотива под состав, надвиг на горку, роспуск и осаживание.

Нормирование продолжительности расформирования состава выполнено выше и составляет $t_{\text{лр}} = 28 \text{ мин.}$

Маневровая работа по формированию поезда назначениям С состоит из: окончания формирования ($T_{\text{зф}}^{\text{лр}}$), перестановки состава в парк отправления ($t_{\text{пер}}$), закрепления состава тормозными башмаками ($t_{\text{закр}}$), возвращения локомотива на вытяжной путь ($t_{\text{пов}}$). Таким образом общее время работы маневрового локомотива с поездом своего формирования составляет:

$$t_{\text{лф}} = 9 + 8 + 5 + 7 = 29 \text{ мин.}$$

По результатам анализа статистических данных установлено, что средняя величина ядра поезда составляет 25 вагонов, то есть половину состава. Следовательно, средние расходы маневровой работы на одну группу вагонов возможно определить с помощью выражения:

$$Mt_{\text{гр}} = 0,5 \cdot (t_{\text{лр}} + t_{\text{лф}}), \text{ мин.}$$

Таким образом, средние расходы маневровой работы на одну группу вагонов составляют:

$$Mt_{\text{гр}} = 0,5 \cdot (28 + 29) = 28,5 \text{ мин.}$$

При втором варианте двугруппные поезда, которые имеют в своем составе группу вагонов на С и группу вагонов назначением на В, принимаются в транзитный парк четного направления для выполнения операций по обмену групп. Технология выполнения обмена групп вагонов в двугруппном поезде приведена на рисунке 3.7.

По прибытии состава сигналист закрепляет ОГВ и поездной локомотив представляет ядро на другой путь транзитного парка и ожидает прицепки группы вагонов назначения С. Маневровый диспетчер дает задание бригаде составителей на подготовку прицепной группы с указанием назначения, количества вагонов, номеров первого и последнего вагонов, места прицепки и номера пути транзитного парка, на который должна быть выставлена группа. Одновременно СТЦ готовит перевозочные документы на ПГВ. После соединения состава выполняется технический и коммерческий осмотр вагонов и проба автотормозов.

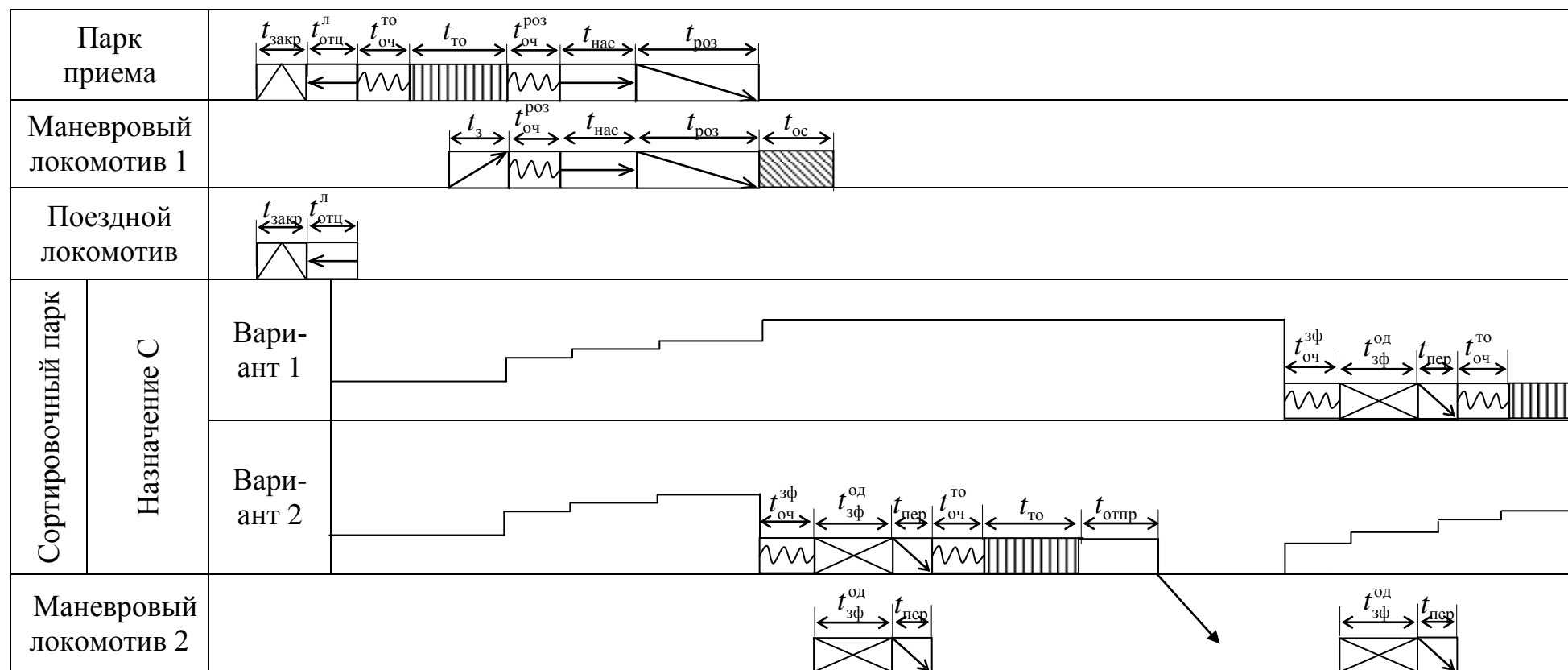


Рисунок 3.6 – Технология работы с поездом, прибывшим в расформирование, на станции В

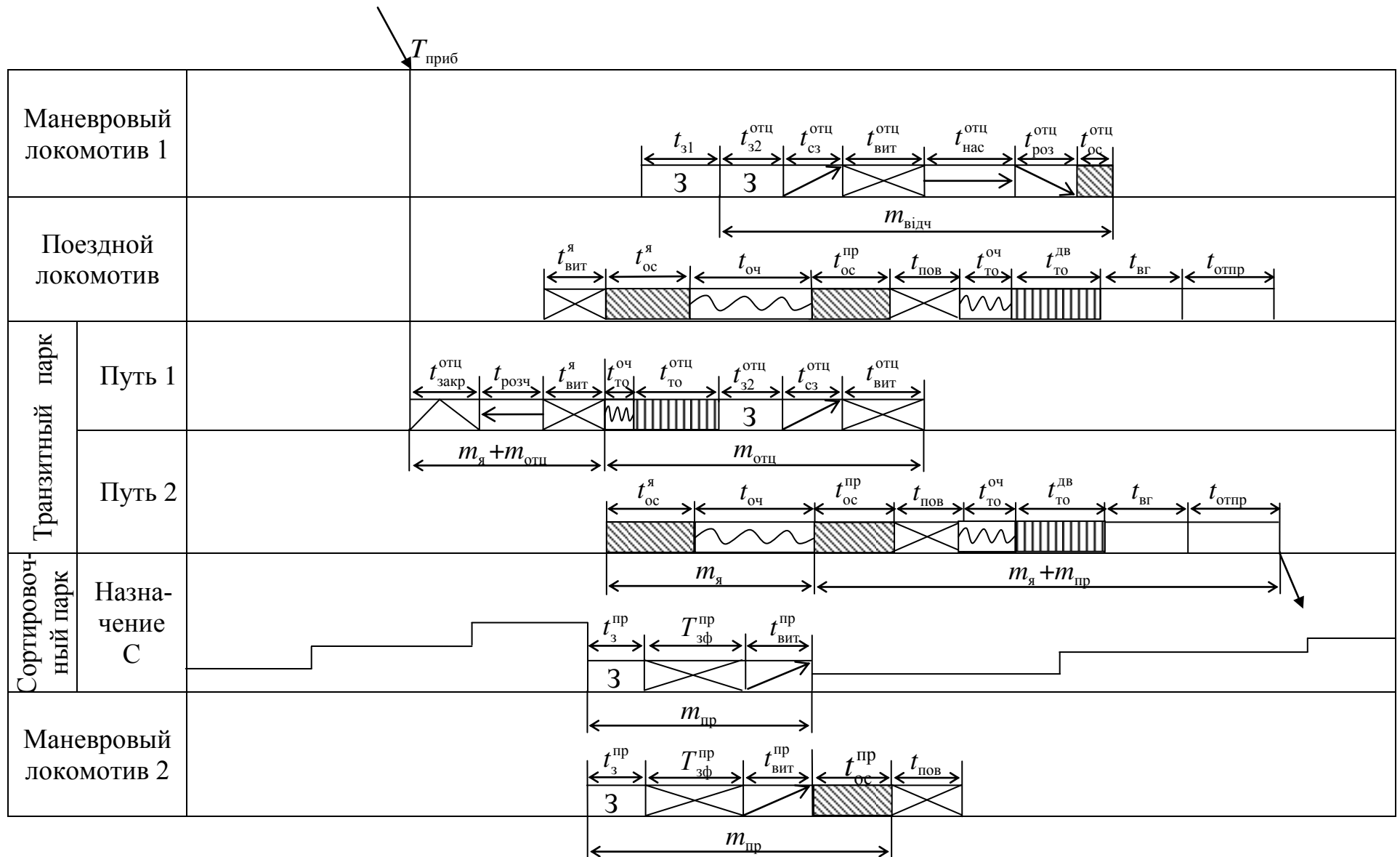


Рисунок 3.7 – Технология обмена групп вагонов в двухгруппном поезде в транзитном парке

Как показано на рис.3.7, ОГВ находится на пути транзитного парка, где выполняется технический и коммерческий осмотр согласно технологии, после чего горочный локомотив (маневровый локомотив 1) заезжает под состав и переставляет ОГВ в парк приема. Все дальнейшие операции с данной группой вагонов аналогичны тем, которые выполняются с поездами, которые прибывают в расформирование.

Продолжительность операций, которые связаны с выполнением маневровых передвижений при обмене групп вагонов, определяется по формуле (3.6), и для каждого отдельного состава имеет разное значение, поскольку $t_{п/р} = f(V, m_{п/р}, l_{п/р})$. Средняя продолжительность данных операций приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Нормирование операций, связанных с выполнением маневровых передвижений

Наименование операции	Группа вагонов	Обозначение	Исходные данные	Средняя продолжительность, мин
Вытягивание ядра поезда с пути транзитного парка поездным локомотивом	ядро	$t_{вит}^я$	$m_я=25 \text{ ваг}, V=15 \text{ км/ч}, l_{п/р}=625 \text{ м}$	3,2
Осаживание ядра поезда на путь транзитного парка поездным локомотивом	ядро	$t_{ос}^я$	$m_я=25 \text{ ваг}, V=15 \text{ км/ч}, l_{п/р}=625 \text{ м}$	3,2
Заезд горочного локомотива с горба горки в парк приема	—	t_{31}	$V=25 \text{ км/ч}, l_{п/р}=260 \text{ м}$	1,2
Заезд горочного локомотива с парку приема в транзитный парк	—	$t_{32}^{отц}$	$V=25 \text{ км/ч}, l_{п/р}=1125 \text{ м}$	3,2
Вытягивание группы вагонов в парк приема	ОГВ	$t_{вит}^{отц}$	$m_{в\text{идч}}=25 \text{ ваг}, V=15 \text{ км/ч}, l_{п/р}=1655 \text{ м}$	7,3
Заезд на путь сортировочного парка с ПГВ	—	$t_3^{пр}$	$V=15 \text{ км/ч}, l_{п/р}=200 \text{ м}$	1
Вытягивание группы вагонов из сортировочного парка	ПГВ	$t_{вит}^{пр}$	$m_{пр}=25 \text{ ваг}, V=15 \text{ км/ч}, l_{п/р}=710 \text{ м}$	3,5
Осаживание группы вагонов на путь транзитного парка	ПГВ	$t_{ос}^{пр}$	$m_{пр}=25 \text{ ваг}, V=15 \text{ км/ч}, l_{п/р}=1820 \text{ м}$	8
Возвращение маневрового локомотива в сортировочный парк	—	$t_{пов}$	$V=25 \text{ км/ч}, l_{п/р}=1445 \text{ м}$	4

Для определения продолжительности нахождения двугруппного поезда на станции необходимо установить нормы времени на выполнение всех других операций с тремя группами вагонов: ядром поезда, ПГВ и ОГВ.

3.2.5.1 Нормирование продолжительности выполнения операций с ядром двугруппного поезда

Продолжительность закрепления ОГВ на пути транзитного парка ($t_{\text{закр}}^{\text{отп}}$) определяется по формуле (3.8) и для каждого состава является разной, поскольку отдельные составляющие формулы зависят от случайной величины $m_{\text{в}}$. Средняя продолжительность $t_{\text{закр}}^{\text{отп}}$, при $l_{\text{прох}}=30$ м и $n_{\text{б}}=5$, составляет 4 мин. Время расцепления ядра и ОГВ, по результатам обработки соответствующих статистических данных по станции В, в среднем составляет $t_{\text{розч}}=4$ мин. После этого вагоны ядра переставляются на другой путь транзитного парка поездным локомотивом. Перечень и продолжительность маневровых операций приведен в табл.3.2.

При организации смены групп в двугруппном поезде на станции обмена групп ПГВ должна быть подготовлена заранее и выставлена на путь транзитного парка. Но на практике достаточно часто это условие не выполняется и возникает простой ядра поезда в ожидании прицепки ПГВ. Продолжительность простоя ядра поезда в ожидании прицепки ПГВ ($t_{\text{оч}}$) есть случайной величиной и, по результатам обработки статистических данных по станции В, в среднем составляет 70,2 мин.

После прицепки ПГВ происходит технический осмотр состава, средняя продолжительность которого определяется по формуле (3.9) и составляет 30 мин. Но, в силу действия разных влияющих факторов, возникает простой в ожидании выполнения технического осмотра ($t_{\text{то}}^{\text{оч}}$), средняя продолжительность которого составляет 12 мин.

Продолжительность выполнения технологических операций с двугруппным поездом без смены локомотива составляет $\sum t_{\text{опер}}=60$ мин. Суммарная величина межоперационных простоев составляет $\sum t_{\text{оч}}^{\text{пб}}=86,2$ мин.

Таким образом, общее время простоя двугруппного поезда без смены локомотива на станции В от момента прибытия до момента отправления, согласно (3.11), составляет: $t_{\text{двогр}}^{\text{бз}} = 60 + 86,2 = 146,2$ мин.

Продолжительность выполнения технологических операций с двугруппным поездом со сменой локомотива составляет $\sum t_{\text{опер}}=71$ мин. Суммарная величина межоперационных простоев составляет $\sum t_{\text{оч}}^{\text{пб}}=86,2$ мин.

перационных простоев (с учетом ожидания поездного локомотива) составляет $\sum t_{\text{оч}}^{\text{пв}} = 116,2 \text{ мин.}$

Таким образом, общее время простоя двугруппного поезда со сменой локомотива на станции В от момента прибытия до момента отправления составляет:

$$t_{\text{двогр}}^{\text{зм}} = 71 + 116,2 = 187,2 \text{ мин.}$$

Маневровая работа, которая выполняется поездным локомотивом, состоит из вытягивания и осаживания вагонов ядра поезда, средняя продолжительность которых определена в табл.3.2. Отсюда средние расходы маневровой работы поездного локомотива с вагонами ядра поезда составляют: $Mt_{\text{я}} = 3,2 + 3,2 = 6,4 \text{ мин.}$

3.2.5.2 Нормирование продолжительности выполнения операций с ОГВ двугруппного поезда

Так как ОГВ прибывает в транзитный парк в составе двугруппного поезда, то перечень и продолжительность операций от момента прибытия до момента перестановки вагонов ядра поезда на другой путь (см. рис.3.7) является одинаковым и определен выше.

После перестановки вагонов ядра поезда на другой путь ОГВ ограждается и бригада ПТО приступает к ее техническому обслуживанию. Так как величина $m_{\text{в}}$ является случайной, то продолжительность технического обслуживания ОГВ также является случайной. Следовательно, учитывая что среднее значение $m_{\text{в}}$ составляет 25 вагонов, средняя продолжительность технического обслуживания вагонов может быть определена по формуле (3.12) и составляет: $t_{\text{то}}^{\text{отп}} = \frac{1 \cdot 25}{2} + 2 = 14,5 \text{ мин.}$ После снятия ограждения маневровый локомотив парка приема заезжает под ОГВ и представляет ее в парк приема. Средняя продолжительность уборки тормозных башмаков ($t_{\text{сз}}^{\text{отп}}$) составляет 3 мин (по результатам статистических данных). Продолжительность соответствующих маневровых операций определена в табл.3.2.

Технология работы с ОГВ в парке приема соответствует технологии работы с поездами, которые прибыли в расформирование.

Продолжительность надвига ОГВ на сортировочную горку определена в п.3.2.3. Время роспуска ОГВ является величиной случайной, так как зависит от таких случайных величин как $m_{\text{в}}$, $V_{\text{роз}}$ та g_0 , и определяется по формуле (3.15). Средняя продолжительность роспуска ОГВ, при средних значениях $m_{\text{в}}=25 \text{ ваг}$, $V_{\text{роз}}=7 \text{ км/ч}$ та $g_0=10$, составляет:

$$t'_{\text{роз}} = \frac{0,06 \cdot 15 \cdot 25}{7} \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 10} \right) = 3,1 \text{ мин};$$

$$t_{\text{роз}} = 3,1 + 6 = 9,1 \text{ мин}.$$

Продолжительность осаживания ОГВ также является случайной величиной, так как зависит от величины $m_{\text{в}}$, и определяется по формуле (3.16). Среднее значение $t_{\text{ос}}^{\text{отп}}$ составляет 1,5 мин. Таким образом, общее время расформирования состава составляет:

$$T_{\text{р}}^{\text{ВГВ}} = 7,3 + 3,7 + 9,1 + 1,5 = 21,6 \text{ мин}.$$

Таким образом средние расходы маневровой работы на ОГВ составляют:

$$Mt_{\text{ВГВ}} = T_{\text{р}}^{\text{ВГВ}} + t_{\text{з1}} + t_{\text{з2}}^{\text{відч}} + t_{\text{сз}}^{\text{відч}} = 21,6 + 1,2 + 3,2 + 6 = 32 \text{ мин}.$$

Продолжительность выполнения технологических операций с ОГВ двухгруппного поезда составляет $\sum t_{\text{опер}} = 51 \text{ мин}$. Суммарная величина межоперационных простоев составляет $\sum t_{\text{оч}}^{\text{ВГВ}} = 25 \text{ мин}$.

Таким образом, общее время простоя ОГВ двухгруппного поезда на станции В от момента прибытия до момента расформирования составляет: $t_{\text{двогр}}^{\text{ВГВ}} = 51 + 25 = 76 \text{ мин}$.

3.2.5.3 Нормирование продолжительности выполнения операций с ПГВ двухгруппного поезда

На путях сортировочного парка маневровый локомотив осуществляет окончание формирования ПГВ. Продолжительность операций по окончанию формирования определяется по формулам (3.1-3.3) и зависит от величины $m_{\text{пр}}$. Средняя продолжительность окончания формирования ПГВ составляет:

$$t_{\text{ПГВ}} = 0,8 + 0,05 \cdot 25 = 2,1 \text{ мин},$$

$$t_{\text{подг}} = 0,08 \cdot 25 = 2 \text{ мин},$$

$$T_{\text{зф}}^{\text{пр}} = 1,1 + 2 = 3,1 \text{ мин.}$$

После окончания формирования ПГВ переставляется на пути транзитного парка. Средняя продолжительность перестановки ПГВ определена в табл.3.2. При готовности ПГВ возможно два следующих варианта:

- а) двугруппный поезд на пути транзитного парка отсутствует;
- б) двугруппный поезд находится на пути транзитного парка.

В случае, когда двугруппный поезд на пути транзитного парка отсутствует, ПГВ переставляется на свободный путь и закрепляется тормозными башмаками. По прибытии двугруппного поезда и отцепки вагонов ВГВ ядро поезда переставляется на тот путь, где находится ПГВ. После соединения групп вагонов все операции с ПГВ и их продолжительность соответствуют технологии работы с вагонами ядра поезда.

В случае, когда двугруппный поезд находится на пути транзитного парка, ПГВ переставляется на тот путь, где находятся вагоны ядра поезда. После соединения групп вагонов все операции с ПГВ и их продолжительность соответствуют технологии работы с вагонами ядра поезда.

Средняя продолжительность маневровой работы с ПГВ составляет:

$$Mt_{\text{ПГВ}} = t_{\text{з}}^{\text{пр}} + T_{\text{зф}}^{\text{пр}} + t_{\text{вит}}^{\text{пр}} + t_{\text{ос}}^{\text{пр}} + t_{\text{пов}} = 1 + 3,5 + 8 + 4 = 16,5 \text{ мин.}$$

При сравнении вариантов организации работы с двугруппными поездами можно отметить недостатки каждого из них. Недостатком первого варианта является переработка ядра поезда, назначением на С. Второй вариант требует значительных расходов времени на дополнительные маневровые передвижения, при этом усложняется система документооборота.

Получить технико-эксплуатационные показатели функционирования отдельных станций и железнодорожного направления в целом при использовании той или другой технологии обмена групп на станции В с помощью аналитического метода невозможно, так как данный метод не может учесть степень влияния всех факторов. Следовательно, для определения рациональной технологии обслуживания двогруппных поездов, необходимо разработать имитационную модель работы железнодорожного направления.

4 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ДВУГРУППНОГО ПОЕЗДА

Процессом оперативного формирования составов на определенном железнодорожном направлении непосредственно руководит поездной диспетчер, с предыдущим согласованием с дорожным поездным диспетчером.

Одной из основных задач поездного диспетчера есть эффективная организация вагонопотоков в поезда, что в свою очередь должно ускорять их продвижение по участку. Одним из возможных вариантов ускорения продвижения вагонопотока есть формирование групповых поездов на базе попутных одnogруппных назначений в пределах существующего плана формирования поездов. На решение данной задачи влияет значительное количество переменных факторов, то есть необходимо владеть оперативной ситуацией на железнодорожном направлении как в целом, так и на основных технических станциях.

На данный момент оперативное решение по формированию двугруппного поезда принимается поездным диспетчером на основе практического опыта работы. В свою очередь данное решение должно базироваться на определенном критерии, который должен четко определять целесообразность оперативного управления организацией вагонопотоков. На текущий момент данный критерий разрабатывался некоторыми учеными, но требует обобщения и внедрения непосредственно на предприятиях железнодорожного транспорта.

4.1 Критерий оценивания оперативного решения по формированию отдельного двугруппного поезда

Каждая методика должна базироваться на четком критерии, который однозначно должен показывать величину эффекта от принятого решения.

В последние годы значительное количество ученых указывает на то, чтобы оценивать целесообразность принятия любого решения в денежном эквиваленте. Так в работе [50] рекомендуется оценивать варианты плана формирования сначала по эксплуатационным показателям, а потом избирать наиболее эффективный вариант по суммарным расходам на организацию и продвижение вагонопотоков.

То есть решение по формированию двугруппного поезда считается эффективным, если расходы на его формирование меньше, чем расходы на формирование двух одногруппных поездов отдельных попутных назначений

$$\Omega = E_{\text{од}} - E_{\text{дв}} > 0 \quad (4.1)$$

$$\text{при условии } m_{\text{я}} + m_{\text{ПГВ}} = m,$$

где $E_{\text{од}}$ – расходы, связанные с включением вагонов ядра и ПГВ в состав отдельных одногруппных поездов на головной станции;

$E_{\text{дв}}$ – расходы, связанные с формированием двугруппного поезда на головной станции и выполнением обмена групп на попутной технической станции;

$m_{\text{я}}$ – количество вагонов в ядре состава;

$m_{\text{ПГВ}}$ – количество вагонов прицепной группы;

m – количество вагонов в составе поезда.

Двугруппный поезд состоит из ядра и прицепной группы. Ядро состава - это вагоны, которые проследуют транзитом станцию обмена групп. ПГВ состоит из вагонов, которые накоплены на станции обмена и прицепляются к составу двугруппного поезда.

Полные расходы по формированию и продвижению отдельной категории поезда на железнодорожном направлении включают в себя расходы на головной станции и станции обмена групп вагонов. Определение полных расходов является сложной задачей, решение которой требует точного знания продолжительности нахождения поезда на каждой из технических станций еще на стадии принятия оперативного решения, которое является невозможным из-за стохастичности системы.

Для снижения объемов расчетов по определению расходов, связанных с включением вагонов ядра и ПГВ в состав каждой из категорий поездов, рациональным является учет лишь отличий для составляющих формулы (4.1), то есть

$$\Omega = e_{\text{вг}} \sum W_{\text{ек}} - e_{\text{мл}} \sum \Delta M t_{\text{ман}} - e_{\text{пл}} \sum \Delta M t_{\text{пл}}, \quad (4.2)$$

где $\sum W_{\text{ек}}$ – суммарная экономия вагоно-часов простоя на головной станции и станции обмена групп. При этом $\sum W_{\text{ек}} = \sum W_{\text{од}} - \sum W_{\text{дв}}$;

$\sum \Delta Mt_{\text{ман}}$ – суммарные дополнительные расходы работы маневровых локомотивов на головной станции и станции обмена групп, связанные с обслуживанием двугруппного поезда;

$\sum \Delta Mt_{\text{пл}}$ – суммарный дополнительный простой поездного локомотива на головной станции и станции обмена групп, связанный с обслуживанием двугруппного поезда;

$e_{\text{вг}}$ – стоимость одного вагоно-часа простоя вагона на станции;

$e_{\text{мл}}$ – стоимость одного локомотиво-часа работы маневрового локомотива;

$e_{\text{пл}}$ – стоимость одного локомотиво-часа простоя поездного локомотива на станции;

Величина $\Delta Mt_{\text{ман}}$ для отдельной технической станции зависит от многих факторов

$$\Delta Mt_{\text{ман}} = f(m_{\text{я}}, m_{\text{ПГВ}}, m, R, T_{\text{тех}}), \quad (4.3)$$

где $T_{\text{тех}}$ – множество технико-технологических параметров станции;

R – количество накопленных вагонов определенного назначения на путях сортировочного парка.

Множество $T_{\text{тех}}$ зависит от конструкции путевого развития станции, технического оснащения и продолжительности выполнения отдельных операций с поездами определенной категории.

Величина $\Delta Mt_{\text{пл}}$ для отдельной технической станции также зависит от многих факторов

$$\Delta Mt_{\text{пл}} = f(R, T_{\text{тех}}). \quad (4.4)$$

Значение величин $\Delta Mt_{\text{ман}}$ и $\Delta Mt_{\text{пл}}$ для отдельного двугруппного поезда и конкретной технической станции определяется на основании технологического процесса работы станции и с использованием норм времени на выполнение каждой операции, или с помощью имитационного моделирования.

4.2 Определение экономии вагоно-часов накопления вагонов при формировании двугруппных поездов на головной станции

Оценить эффективность принятого решения о формировании отдельного двугруппного поезда возможно на основе расчета экономии вагоно-часов простоя $W_{\text{ек}}$.

В соответствии с [27] суммарные вагоно-часы накопления на головной станции А, при формировании только одnogруппных поездов на два отдельных назначения, возможно определить с помощью формулы

$$W = 2ct, \quad (4.5)$$

где c – параметр накопления состава.

При формировании двугруппного поезда из вагонов двух попутных назначений суммарные вагоно-часы накопления составляют $W = ct$.

Таким образом, при формировании двугруппных поездов вагоно-часы накопления снижаются в два раза. Это сокращение следует рассматривать как среднюю величину, в условиях равномерного поступления вагонов, и формировании только двугруппных поездов. Между тем, в действительности, поступление вагонов на отдельные назначения имеет существенную неравномерность и считается случайным. В связи с этим экономия вагоно-часов в результате формирования отдельного двугруппного поезда может колебаться и принимать разные величины в зависимости от ситуации в текущий момент времени и характера поступления вагонов. Отсюда возникает задача определения экономии вагоно-часов при формировании отдельного двугруппного поезда в конкретных оперативных условиях.

Для решения поставленной задачи рассмотрим процесс накопления на головной станции А вагонов одного назначения (рисунок 4.1) в случае равномерного поступления вагонов с интенсивностью λ вагонов/час.

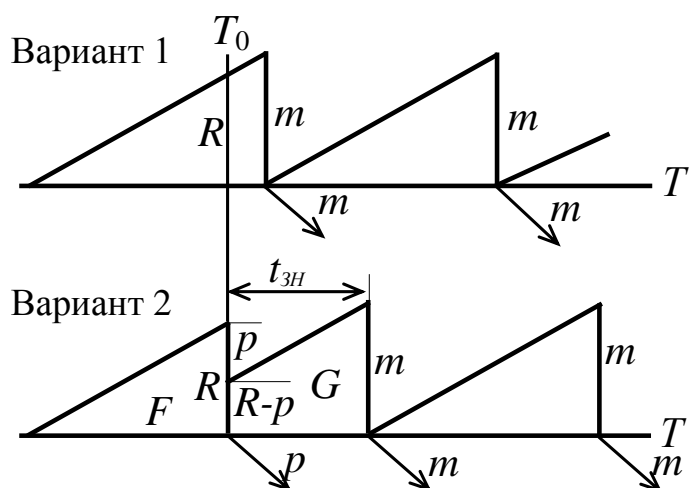


Рисунок 4.1 – Варианты процесса накопления на головной станции А вагонов одного назначения

При формировании только одногруппных поездов (вариант 1) среднее время простоя под накоплением одного вагона составляет

$$t_{\text{н}} = \frac{m}{2\lambda}, \quad (4.6)$$

где λ - интенсивность вагонопотока.

Вагоно-часы накопления потока из N вагонов составляют

$$W_1 = \frac{Nm}{2\lambda}. \quad (4.7)$$

Состояние сортировочного пути, на котором накапливаются вагоны отдельного назначения, в некоторый текущий момент T_0 можно характеризовать количеством вагонов R и затратой вагоно-часов их накопления F , которая составляет

$$F = \frac{R^2}{2\lambda}. \quad (4.8)$$

При формировании двугруппного поезда (вариант 2), в состав которого включается p вагонов данного назначения (при условии $p \leq R$), остается $(R - p)$ вагонов, которые входят в состав следующего одногруппного поезда. Среднее время на завершение накопления этого поезда определяется по формуле

$$t_{\text{зн}} = \frac{m - (R - p)}{\lambda}, \text{ мин} \quad (4.9)$$

где p – количество вагонов, которые прицепляются к составу двугруппного поезда.

Вагоно-часы накопления составляют

$$G = \frac{(m + R - p)(m - R + p)}{2\lambda}. \quad (4.10)$$

Остальной поток в количестве $(N - p - m)$ вагонов отправляется в одногруппных поездах и имеет следующее количество вагоно-часов накопления

$$W_p = \frac{(N - p - m) \cdot m}{2\lambda}. \quad (4.11)$$

Таким образом, при формировании двугруппного поезда и включении в его состав p вагонов отдельного назначения, общий простой вагонов под накоплением составляет

$$W_2 = F + G + W_p = \frac{R^2 + (m + R - p)(m - R + p) + (N - p - m)m}{2\lambda}. \quad (4.11)$$

Экономия вагоно-часов накопления одного назначения в результате формирования одного двугруппного поезда (в дальнейшем экономия простоя) составляет

$$W_{\text{ек}} = W_1 - W_2. \quad (4.12)$$

После подстановки в формулу (4.11) составляющих (4.7) и алгебраических преобразований получим

$$W_{\text{ек}} = \frac{p(m - 2R + p)}{2\lambda}. \quad (4.13)$$

Величина $z = (m - 2R + p)$ в формуле (4.12) является некоторым расчетным количеством вагонов, а время их накопления определяется отношением

$$t_z = \frac{z}{\lambda}, \quad (4.14)$$

тогда экономия простоя вагонов может быть рассчитана

$$W_{\text{ек}} = \frac{pt_z}{2}. \quad (4.15)$$

Содержание величины z заключается в следующем. Если в состав двугруппного поезда включаются все имеющиеся вагоны назначения, то есть $p = R$, то величина $z = (m - R)$ представляет завершающую группу - количество вагонов, которое нужно для завершения накопления одногруппного поезда (рисунок 4.2).

При этом t_z является временем для накопления этой группы.

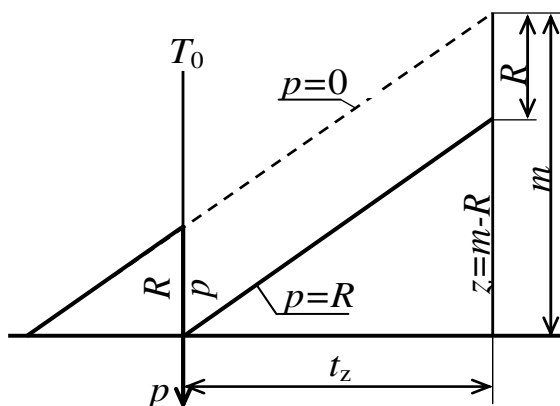


Рисунок 4.2 – Завершающая группа вагонов z , при $p = R$

С целью анализа аналогичным способом выполнены расчеты $W_{\text{ек}}$ для других величин p и R (при условии $p < R$), результаты которых приведены в таблице 4.2 и (в графическом виде) на рисунке 4.4.

Таблица 4.2 – Определение величины экономии вагоно-часов простоя $W_{\text{ек}}$

R	$W_{\text{ек}}=f(p, R), \text{ваг-ч}$						
	p						
	5	0	0	5	0	0	0
10	1	5	-	-	-	-	-
20	5	12	7	-	-	-	-
25	2	6	5	9	-	-	-
30	-2	0	2	3	7	-	-
40	8	-12	12	8	0	5	-
50	14	25	37	39	37	25	0

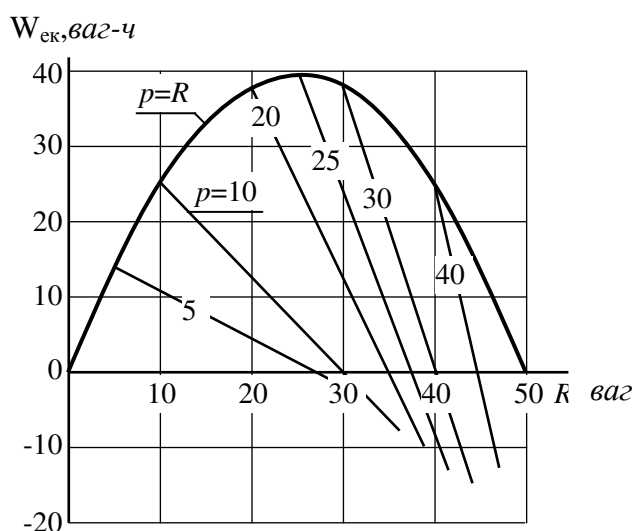


Рисунок 4.4 – Зависимость экономии простоя вагонов под накоплением от влияющих факторов для отдельного назначения

Снижение p относительно R , то есть рост остатка вагонов в количестве $(R - p)$, снижает экономию простоя, а в случаях, когда $z < 0$ может приводить к росту простоя сравнительно с одnogруппными поездами.

Полученные результаты показывают, что формирование двугруппных поездов не всегда приводит к снижению простоя вагонов под накоплением. Наибольшая экономия простоя вагонов может быть получена, когда в состав двугруппного поез-

да включаются все имеющиеся вагоны назначения, то есть при $p=R$, а максимальная экономия достигается при $p = R = \frac{m}{2}$.

Таким образом, формирование двугруппного поезда может давать экономию простоя только при определенных условиях, что требует соответствующих расчетов в конкретных оперативных условиях.

4.3 Определение экономии вагоно-часов накопления вагонов при выполнении обмена групп вагонов в двугруппном поезде

Рассмотрим технологию, которая предусматривает работу с двугруппным поездом, как с поездом, который прибыл в расформирование. После роспуска состава на назначение С приходит ядро двугруппного поезда в количестве $m_{\text{я}}$ вагонов. Поступление дополнительных вагонов переводит назначение С в одно из возможных состояний:

- состояние 1 - количество вагонов меньше, чем состав поезда, то есть $R + m_{\text{я}} < m$. Процесс накопления должен продолжаться;
- состояние 2 – количество вагонов равняется или более, чем состав поезда, то есть $R + m_{\text{я}} \geq m$. Это позволяет формировать очередной состав.

Рассмотрим процесс накопления вагонов назначения С для состояния 1, который в графическом виде приведен на рисунке 4.5 (при условии $p=m_{\text{я}}$).

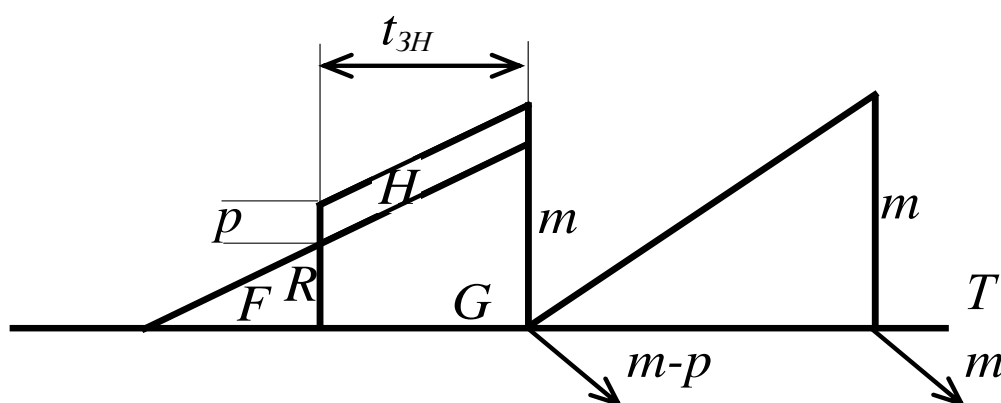


Рисунок 4.5 – Процесс накопления на станции В вагонов назначения С (при условии $R + m_{\text{я}} < m$)

В случае, когда $R + m_{\text{я}} < m$ продолжительность завершения накопления данного поезда в среднем равна

$$t_{\text{зн}} = \frac{m - p - R}{\lambda}, \text{ мин} \quad (4.16)$$

а вагоно-часы простоя под накоплением вагонов ядра составляют

$$H = \frac{p(m - p - R)}{\lambda}. \quad (4.17)$$

Вагоны, которые поступают за период $t_{\text{зн}}$, будут иметь следующие вагоно-часы простоя под накоплением

$$G = \frac{(m - p + R)(m - p - R)}{2\lambda}. \quad (4.18)$$

Остальной поток в количестве $(N - (m - p))$ вагонов отправляется в других одnogруппных поездах и обеспечивает следующее количество вагоно-часов накопления

$$W_{\text{п}} = \frac{(N - (m - p))m}{2\lambda}. \quad (4.19)$$

Таким образом, общий простой вагонов назначения С под накоплением, без учета простоя вагонов ядра двугруппного поезда, составляет

$$W_2 = F + G + W_{\text{п}} = \frac{p^2 - m \cdot p + N \cdot m}{2\lambda}. \quad (4.20)$$

Следовательно, экономия простоя для назначения С, после подстановки в формулу (4.13) составляющих (4.7) и алгебраических преобразований, определяется

$$W_{\text{ек}} = \frac{p(m-p)}{2\lambda}. \quad (4.21)$$

Величина $z = (m-p)$ в (4.20) являет собой некоторое расчетное количество вагонов. Продолжительность накопления z вагонов и экономия простоя $W_{\text{ек}}$, которую они обеспечивают, могут быть определены по формулам (4.13) и (4.14).

Общая экономия простоя для назначения C в целом снижается за счет дополнительного простоя вагонов ядра двугруппного поезда и может быть определена как

$$W_{\text{ек}}^{\text{заг}} = W_{\text{ек}} - H. \quad (4.22)$$

Подставив в (4.21) соответствующие составляющие (4.16) и алгебраических преобразований получим

$$W_{\text{ек}}^{\text{заг}} = \frac{p(p+2R-m)}{2\lambda}. \quad (4.23)$$

Для выбора рациональной технологии обслуживания двугруппного поезда на станции обмена групп необходимо учитывать общий простой вагонов ядра, то есть от момента прибытия до момента отправления со станции.

Для определения величины $W_{\text{ек}}$ для станции обмена групп вагонов применяется:

- формула (4.15) – в случае приема двугруппного поезда в приемо-отправочный парк и в случае приема двугруппного поезда в парк приема и выполнении условия $R + m_{\text{я}} \geq m$ для сортировочного пути назначения C ;
- формула (4.23) – в случае приема двугруппного поезда в парк приема и при выполнении условия $R + m_{\text{я}} < m$ для сортировочного пути назначения C .

Разработанная методика и критерий определения эффективности оперативного формирования двугруппного поезда будет использована в имитационной модели работы железнодорожного направления для исследования эффективности оперативного формирования групповых поездов.

5 ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНПОТОКОВ В ПОЕЗДА

Современный этап развития железнодорожной отрасли характеризуется значительным осложнением практики оперативного управления вагонопотоками. На Укрзализныце создана техническая база для решения задачи оперативного управления поездообразованием, но отсутствуют алгоритмы и методы для ее использования в оперативных условиях. Эти и другие причины требуют усовершенствования существующих, разработку и внедрение в практику новых методов оперативного управления поездообразованием. Внедрение в практику тех или иных методов управления требует их предыдущей оценки, особенно, что касается работы железнодорожного направления. Количественную оценку технико-эксплуатационных и экономических показателей работы отдельного железнодорожного направления для каждого из вариантов организации вагонопотоков и/или изменения технологии их обслуживания наиболее целесообразно выполнять с помощью его функциональной модели.

5.1 Структура имитационной модели железнодорожного направления

Железнодорожное направление и каждая техническая станция, которая находится на данном направлении, представляют собой сложные управляемые системы массового обслуживания, состоящие из многих элементов, которые в процессе работы тесно взаимодействуют между собой и имеют взаимное влияние.

На кафедре «Станции и узлы» ДНУЖТу для решения задач, связанных с исследованием работы технических станций, рядом авторов [51] создана система математических моделей технических станций. Данный комплекс моделей был использован для моделирования работы железнодорожного направления. При этом, для исследования задач поставленных в дипломной работе, были доработаны модели системы управления для макро- и микроуровней.

Функциональная модель железнодорожного направления (ФМН) рассматривается как двухуровневая, где на макроуровне моделируется работа всего направления в целом, а на микроуровне - работа отдельной станции.

В общем виде ФМН может быть представлена структурой

$$D = \left\{ \begin{matrix} S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n \\ U_1, U_2, \dots, U_j, \dots, U_l \end{matrix} \right\}, \quad (5.1)$$

где S_i – множество параметров, которые характеризуют отдельную техническую станцию железнодорожного направления;

U_j – множество параметров, которые характеризуют отдельный участок между двумя техническими станциями;

n – общее количество технических станций направления;

l – общее количество участков направления.

Отдельная техническая станция железнодорожного направления представляется в модели с помощью структуры

$$S_i = \{I_s, \mathbf{T}_{\text{тех}}, \mathbf{T}_{\text{техн}}\}, i=1, 2, \dots, n, \quad (5.2)$$

где I_s – идентификатор (название) станции;

$\mathbf{T}_{\text{тех}}$ – множество параметров, которые характеризуют технологию работы станции с разными категориями поездов;

$\mathbf{T}_{\text{техн}}$ – множество параметров, которые характеризуют техническое оснащение станции.

Отдельный участок между двумя техническими станциями представляется в модели с помощью структуры

$$U_j = \{I_U, N_{\text{пр}}, \mathbf{T}_{\text{техн}}, t_x\}, j=1, 2, \dots, l, \quad (5.3)$$

где I_U – идентификатор (название) участка;

$N_{\text{пр}}$ – наличная пропускная способность участка;

$\mathbf{T}_{\text{техн}}$ – множество параметров, которые характеризуют техническое оснащение участка;

t_x – графическое время движения грузового поезда по данному участку.

В состав ФМН входят генератор входного потока заявок (ГВП), который моделирует поступление заявок на технические станции направления (моменты поступления и параметры заявок), модель оперативного управления поездобразованием на железнодорожном направлении (МОКЗН) и модели работы каждой отдельной технической станции (ФМС). Структура ФМН и схема взаимодействия моделей приведена на рисунке 5.1.

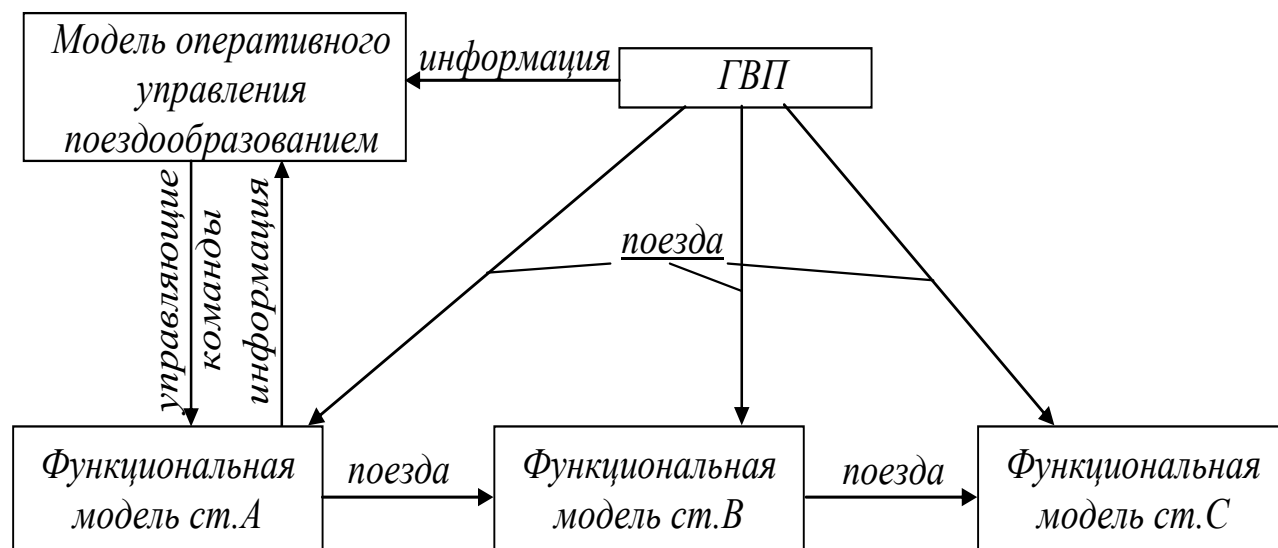


Рисунок 5.1 – Структура функциональной модели железнодорожного направления

Входящий поток представляет собой множество поездов разных категорий, которые прибывают на отдельную техническую станцию. Параметры каждого объекта O_k в усовершенствованной модели станции определяются структурой

$$O_k = \{ I_s, T_{\text{пр}}, \mathbf{P}, \mathbf{B} \}, k=1, 2, \dots, n_o \quad (5.4)$$

где I_s – идентификатор станции прибытия поезда (5.2);

$T_{\text{пр}}$ – момент прибытия поезда на станцию;

\mathbf{P} – вектор параметров поезда (категория, количество вагонов и т.д.);

\mathbf{B} – список параметров процесса обслуживания поезда на станции;

n_o – общее количество объектов.

С помощью ГВП также моделируется поступление заявок на отдельную станцию с тех подходов, которые не входят в состав данного железнодорожного направле-

ния. Моделирование поступления заявок на каждую станцию с тех станций, которые входят в рассматриваемое направление, выполняется по результатам работы предыдущей станции и с использованием графического времени движения поездов (t_x).

Поезда могут прибывать на каждую станцию железнодорожного направления с нескольких подходов. Момент поступления очередного поезда O_j на станцию с подхода, который не входит в рассматриваемое направление, определяется по формуле

$$T_{\text{пр}(j)} = T_{\text{пр}(j-1)} + I_{j-1, j}; (T_0 = 0), \quad (5.5)$$

где $T_{\text{пр}(j-1)}$ – момент прибытия на станцию предыдущего ($j-1$) поезда;

$I_{j-1, j}$ – интервал прибытия между смежными ($j-1$) и j поездами.

Для моделирования использовано модифицированное распределение Эрланга, при котором величина $I_{j-1, j}$ определяется с помощью выражения

$$I_{j-1, j} = \frac{I_{\min} - M[I]}{k} \ln \prod_{i=1}^k r_i + I_{\min}, \quad (5.6)$$

где I_{\min} – минимальный интервал между поездами, который устанавливается требованиями автоблокировки;

r – случайное число, равномерно распределенное в интервале $[0, 1]$.

Движение пассажирских поездов в модели происходит соответственно графика движения на участках направления.

Момент поступления поезда O_j на станцию i из предыдущей станции ($i-1$) железнодорожного направления определяется по формуле

$$T_{\text{пр}j}^{(i)} = T_{\text{вих}j}^{(i-1)} + t_{xj}^{(i-1)}, \quad (5.7)$$

где $T_{\text{вих}j}^{(i-1)}$ – момент отправления поезда O_j со станции ($i-1$);

$t_{xj}^{(i-1)}$ – время движения поезда между станциями ($i-1$) и i .

Решение о применении оперативного управления поездообразованием на железнодорожном направлении принимает поездной диспетчер, после согласования этого решения с соответствующими руководителями. Также данное решение может быть инициировано станционным или маневровым диспетчером головной технической станции. В разделе 4 была разработана процедура оценки оперативных решений относительно формирования отдельных двугруппных поездов. Для ее реализации и решения задач, связанных с исследованием влияния оперативного управления поездообразованием на эффективность организации вагонопотоков на железнодорожном направлении, была усовершенствована модель системы управления (МОКЗН).

Функционирование МОКЗН описывается процедурой, которая приведена на рисунке 5.2. Данная процедура применяется на головной станции для решения вопроса о необходимости оперативного управления поездообразованием.

5.2 Функциональная модель работы технической станции

Учитывая сложную иерархическую структуру железнодорожных станций, при разработке их функциональных моделей выделяют следующие уровни детализации. На метауровне станция рассматривается как СМО, выполняющая обслуживание входящего потока заявок. На макроуровне выполняется моделирование технологического процесса (ТП) обслуживания потока заявок. На микроуровне выполняется моделирование обслуживания отдельных заявок [52].

На микроуровне объектом исследования является процесс накопления вагонов и формирования поездопотоков на технических станциях направления. Модель технологии формирования поездов позволяет использовать разные варианты организации вагонопотоков в поезда. На макроуровне в качестве объекта исследования выступает процесс продвижения поездопотоков по железнодорожному направлению, которое являет собой СМО, отдельными фазами которой являются станции и участки.

В состав усовершенствованной ФМС входит модель технологического процесса обслуживания объектов (МТП) и модель оперативного управления технологическим процессом станции (МОУТП).

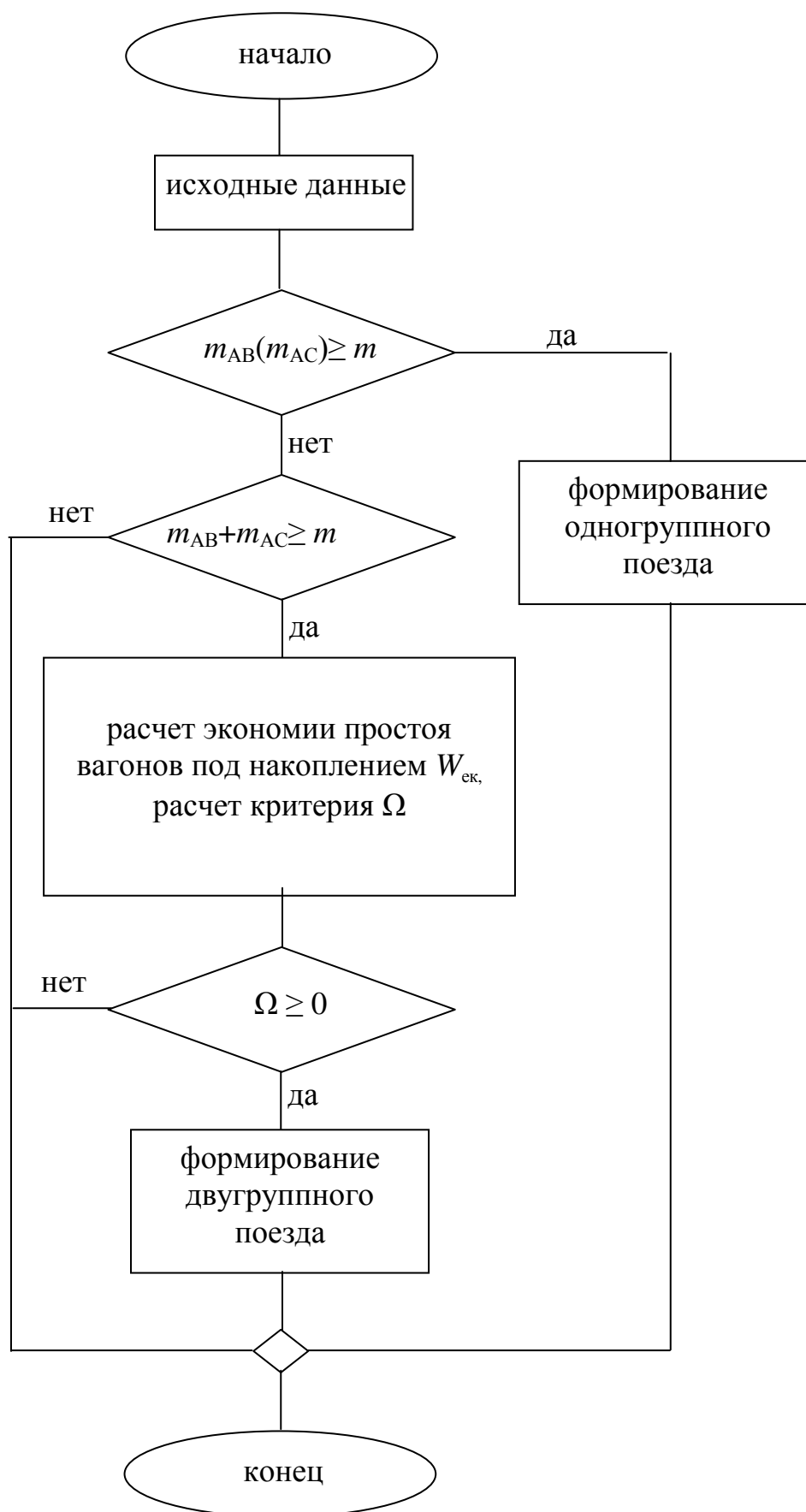


Рисунок 5.2 – Процедура определения категории формируемого поезда

Синхронизация моделей выполняется в дискретные моменты системного времени T_c . Структура ФМС и схема взаимодействия ее моделей приведена на рисунке 5.3.

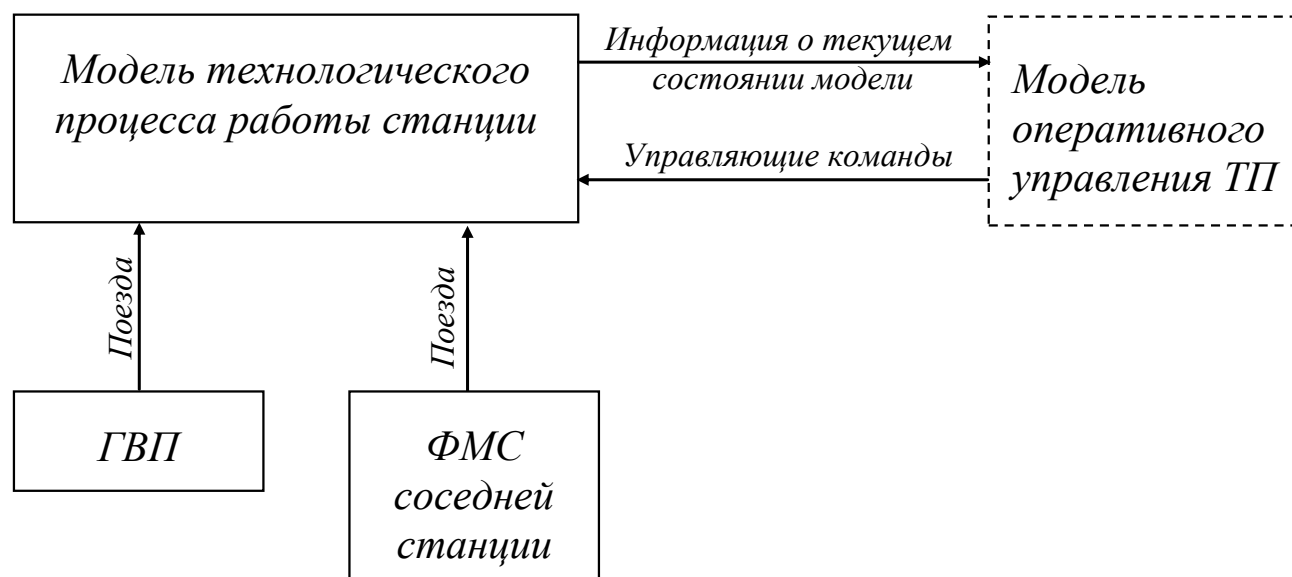


Рисунок 5.3 – Структура функциональной модели технической станции

В МТП техническая станция рассматривается как многофазная, многоканальная, управляемая система массового обслуживания (СМО). В приведенной СМО входящий поток создают объекты, которые требуют обслуживания на станции. Фазами обслуживания являются отдельные технологические операции, которые выполняются в определенной последовательности в соответствии с ТП. Продолжительность этих операций моделируется как случайные величины, параметры которых зависят от характеристик объекта. Обслуживающими устройствами являются исполнители технологических операций.

5.2.1 Входящий поток заявок.

ТП обработки объектов O_k на станции являет собой комплекс технологических операций q_i , каждая из которых должна быть выполнена в определенном порядке перед тем, как объект оставит систему. В качестве объектов, которые обрабатываются в ФМС, рассматриваются поезда, локомотивы, маневровые составы и составы, которые накапливаются на сортировочных путях. Каждый объект представляется в модели с помощью структуры (5.4).

Одновременно с моментом появления поезда $T_{вхj}$ моделируются его параметры \mathbf{P}

$$\mathbf{P} = \{I_o, T_{\text{пр}}, a_o, m, L, m_{\text{ОГВ}}, m_{\text{я}}\}, \quad (5.8)$$

где I_o – идентификатор объекта;

a_o – тип объекта (категория поезда);

L – порядок обслуживания поезда локомотивами (наличие смены локомотива);

$m_{\text{ОГВ}}$ – количество вагонов в отцепляемой группе (для двугруппных поездов);

$m_{\text{я}}$ – количество вагонов в ядре поезда (для двугруппных поездов).

С каждым объектом на станции выполняются определенные операции, которые предусмотрены технологическим процессом (закрепление, технический и коммерческий осмотр составов, проба автотормозов, отцепка поездного локомотива и др.). Для этого, при моделировании каждого объекта, определяется список \mathbf{B} параметров процесса обслуживания данного объекта на станции

$$\mathbf{B} = \{s_o, \mathbf{U}_{\text{вик}}, \mathbf{Q}, \mathbf{O}_{\text{оп}}\}, \quad (5.9)$$

где s_o – список исполнителей, которые после окончания выполнения некоторых операций с объектом ожидают начала выполнения других операций с этим же объектом;

$\mathbf{U}_{\text{вик}}$ – список технологических операций, которые выполняются с объектом в текущий момент времени;

\mathbf{Q} – список технологических операций, которые выполняются с объектом в текущий момент времени;

$\mathbf{O}_{\text{оп}}$ – множество подчиненных объектов.

В модели ТП предусмотрена возможность моделирования сложных объектов, которые могут состоять из нескольких частей, каждая из которых имеет свою собственную технологию обслуживания (например поезд, который состоит из локомотива и состава). В этом случае подчиненные объекты заносятся в список $\mathbf{O}_{\text{оп}}$ сложного объекта.

5.2.2 Формализация технологического процесса обслуживания объектов.

Фазами обслуживания являются отдельные операции, которые выполняются в соответствии с ТП в установленной последовательности. Обслуживающими каналами СМО являются исполнители разной специализации (работники и устройства, которые принимают участие в работе станции, - сигналист, бригады ПТО и ПКО, маневровые локомотивы и др.).

В функциональной модели станции каждая технологическая операция представляется структурой [53]

$$q_i = \{I_w, N_o, U_q, F_q, t_q, z_q, s_q\}, i = 1, 2 \dots, n_q, \quad (5.10)$$

где I_w – идентификатор шаблона технологической операции;

N_o – объект, с которым выполняется операция;

U_q – список исполнителей операции;

F_q – список условий окончания технологической операции;

t_q – продолжительность выполнения технологической операции;

z_q – момент окончания выполнения технологической операции;

s_q – состояние выполнения технологической операции;

n_q – общее количество операций, которые выполняются с объектом.

Параметр s является переменной, которая характеризует текущее состояние операции q_i для объекта O_j . При этом $s=0$, если операция q_i может быть начата с объектом O_j и ожидает освобождения исполнителя соответствующей специализации и $s=1$, если операция q_i выполняется, $s=2$, если выполнено условие продолжительности и операция находится в состоянии выполнения условий ее окончания.

В процессе моделирования работы станции список Q изменяется по окончании выполнения какой-либо операции с объектом. Список исполнителей U_q корректируется по мере их занятия и освобождения при выполнении операций с данным объектом.

Продолжительность выполнения каждой операции рассматривается как случайная величина с заданным законом распределения. Параметры, необходимые для моделирования случайной величины t при каждой реализации обработки состава, устанавливаются в результате статистической обработки данных натурных исследований.

Каждый исполнитель, который работает на станции в МТП представляется структурой [51]

$$E_k = \{I_e, N_e, \gamma, g_e\}, k = 1, 2, \dots, n_e, \quad (5.11)$$

где I_e – идентификатор исполнителя;

N_e – название исполнителя;

g_e – указатель активности исполнителя;

n_e – общее количество исполнителей, которые принимают участие в ТП станции.

Исполнитель E_k считается занятым, если в текущий момент времени он выполняет некоторую технологическую операцию (находится в списке U_q) или находится в ожидании выполнения следующих операций с этим же объектом (список U). Для учета свободных исполнителей в МТП введен динамический список $U_r = \{I_{e1}, I_{e1}, \dots, I_{em}\}$, (здесь m – общее количество свободных исполнителей) который содержит в качестве элементов идентификаторы исполнителей, которые не заняты выполнением какой-либо операции в текущий момент системного времени T_c . Список U_r изменяется в процессе моделирования работы станции при занятии или освобождении исполнителей. В начале моделирования все исполнители считаются свободными ($m=n_e$).

Момент выхода поезда со станции $T_{\text{вих}(i-1)}$ определяется по результатам обслуживания заявки в ФМС станции $i-1$. Величина t_{xj} устанавливается в соответствии с графиком движения поездов между данными станциями.

5.2.3 Порядок и моделирование процесса обслуживания заявок в системе.

Для моделирования технологического процесса обслуживания объектов каждой отдельной категории (пассажирские поезда, грузовые поезда в расформирование и так далее) в модели используется конечный автомат (КА), который обеспечивает

выполнение с каждым объектом всего комплекса технологических операций в соответствии с их взаимной обусловленностью [52]

$$A = \{X, Z, S, F_z, F_s\}, \quad (5.12)$$

где X, Z – соответственно, входящий и исходящий алфавит;

S – множество состояний автомата;

F_z, F_s – функции выходов и переходов.

Элементами входящего и исходящего алфавитов каждого СА являются внешние (от МОКТП и МОКЗН) и внутренние (от структурных подсистем МТП) команды.

Входящий алфавит X автомата включает три подмножества входящих сигналов: $X = \{X_1, X_2, X_3\}$; здесь X_1 , – внешние команды, которые поступают от МСУ для инициализации определенных технологических операций с объектом; X_2 – внутренние сигналы, которые поступают от объекта после окончания каждой технологической операции; X_3 – внутренние сигналы, которые поступают от объекта при возникновении эксплуатационных событий.

Каждому символу z_l исходящего алфавита Z ставится в соответствие функция Ψ_l , которая должна быть выполнена ФМС в момент поступления в КА входящего сигнала x_l . Функция Ψ_l включает наборы команд двух типов $\Psi_l = \{K_{l1}, K_{l2}\}$; где K_{l1} – список команд инициализации отдельных технологических операций с объектом; K_{l2} – список команд и сообщений, которые должны быть переданы структурным моделям ФМС.

Каждое состояние автомата $s_0 \in S$ соответствует определенному состоянию ТП обслуживания объекта, который характеризуется степенью завершенности всех технологических операций. Обслуживание отдельного объекта на станции моделируется последовательностью переходов КА из одного состояния в другое по мере выполнения предусмотренных технологическим процессом операций. В начале моделирования обслуживания объекта соответствующий находится в начальном состоянии s_0 (автомат является инициальным). После выполнения всех операций, ко-

торые предусмотрены ТП, автомат переходит в конечное состояние s_k , после чего соответствующий объект исключается из системы обслуживания.

Функции выходов F_z и переходов F_s автомата A выполняют превращение входящей последовательности сигналов $\mathbf{x}_j = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ в соответствующую исходящую последовательность $\mathbf{z}_j = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$. Для формализации разных вариантов технологии обслуживания некоторого объекта используются разные входящие последовательности \mathbf{x}_j , $j = 1 \dots r$, каждая из которых переводит КА из состояния s_0 в состояние s_k . Порядок перехода автомата из одного состояния в другое описан в [52].

Для моделирования процессов обслуживания заявок разного типа ν были использованы соответствующие автоматы A_ν [52]. При этом с помощью одного автомата A_ν выполняется моделирование обслуживания всех заявок ν -го типа, которые находятся в ФМС в текущий момент времени. Текущее состояние автомата s для j -го объекта хранится в модели объекта O_k .

В качестве основного порядка обслуживания объектов принят порядок FIFO (первым прибыл - первым обслуживается).

Для расчета показателей работы станции в модели технологического процесса предусмотрено ведение списка элементов \mathbf{F} [56]. Каждый элемент этого списка $f \in \mathbf{F}$ описывается структурой

$$f_i = \{I_o, r_f, t_f, h_f\}, \quad (5.13)$$

где r_f – тип показателя;

t_f – время записи элемента f в список \mathbf{F} ;

h_f – числовой параметр.

Таким образом, в данном разделе разработана имитационная модель функционирования железнодорожного направления (включая модели функционирования технических станций), которая будет использована для исследования эффективности организации вагонопотоков за счет оперативного формирования двугруппных поездов.

6 ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ДВУГРУППНЫХ ПОЕЗДОВ

Усовершенствование организации грузовых вагонопотоков должно обеспечивать снижение расходов, связанных с организацией вагонопотоков в поезда, и улучшения качественных эксплуатационных показателей работы технических станций и железнодорожных направлений.

Основными показателями качества эксплуатационной работы каждой технической станции является величина среднего простоя транзитного вагона без переработки ($t_{\text{тр}}^{\text{б/п}}$) и транзитного вагона с переработкой ($t_{\text{тр}}^{\text{пер}}$). Ежегодно, на основании анализа работы за предыдущий период, для станции устанавливается нормативная величина каждого из приведенных показателей, которая является обязательной к выполнению. Если нормативная величина среднего простоя транзитного вагона без переработки, в основном, выполняется, то величина среднего простоя транзитного вагона с переработкой не выполняется на большинстве технических станций (см. приложение А, табл. А. 1). Как показал развернутый анализ, основной причиной превышения нормы среднего простоя транзитного вагона с переработкой на станции является увеличение простоя вагонов под накоплением. Одной из причин этого есть колебание мощности вагонопотоков и случайный характер поступления вагонов на станции. Это приводит к увеличению расходов железных дорог на организацию грузовых вагонопотоков в поезда.

Одним из возможных мероприятий относительно сокращения времени простоя транзитных вагонов с переработкой на станции и нахождения их на железнодорожном направлении в целом есть оперативное формирование двугруппных поездов на базе попутных назначений ПФП. При этом необходимо определить условия применения оперативного формирования двугруппных поездов и установить влияние отдельных факторов на их эффективность.

Для исследования влияния различных факторов на эффективность организации вагонопотоков была разработана имитационная модель функционирования железнодорожного направления, с помощью которой были определены следующие показатели работы станций А и В:

- количество сформированных поездов на головной и попутной станциях по категориям (однотупные, двутупные);
- время нахождения вагонов на рассматриваемых попутных назначениях;
- объем маневровой работы;
- продолжительность простоя поездного локомотива;
- суммарные затраты, связанные с организацией вагонопотоков для всего железнодорожного направления.

При исследовании в дипломной работе были рассмотрены три варианта организации вагонопотоков в поезда, а именно:

- формирование однотупных поездов на головной технической станции А согласно ПФП;
- формирование двутупных поездов на головной технической станции А согласно ПФП;
- оперативное формирование двутупных поездов на базе однотупных назначений.

На головной станции А железнодорожного направления А-В-С принятие решения о формировании определенной категории поезда должно базироваться на оперативном состоянии станции (количество вагонов отдельных назначений плана формирования, возможность объединения групп вагонов, наличие поездных локомотивов и так далее) и с учетом отдельных факторов, которые влияют на эффективность принятого решения. Одним из данных факторов может выступать наличие экономии затрат.

Расчет экономии затрат базируется на разнице затрат, связанных с обслуживанием вагонов при включении их в состав однотупного поезда и при включении их в состав отдельных двутупных поездов. Данные затраты возникают на головной станции А и станции обмена групп вагонов. Расходы, связанные с обменом групп вагонов на технической станции, зависят от технико-технологических параметров станции В. При моделировании функционирования железнодорожного направления рассмотрено влияние некоторых технологических факторов на организации вагонопотоков, такие как: мощность вагонопотоков, наличие смены поездного локомотива.

6.1 Определение отдельных показателей ПФП при формировании поездов по существующей технологии организации вагонопотоков

Основу организации вагонопотоков составляет ПФП, который ежегодно рассчитывается и подлежит строгому выполнению. В первых двух опытах были определены показатели работы станций А и В при формировании поездов согласно существующему ПФП.

В первом опыте были определены эксплуатационные показатели работы при формировании только одnogруппных поездов согласно ПФП для разных мощностей вагонопотоков и наличия необходимости смены поездного локомотива на попутной технической станции В. Результаты исследований приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Эксплуатационные показатели работы станций направления при формировании только одnogруппных поездов

Технико-эксплуатационные показатели		$N_{AB} - N_{AC} - N_{BC}$, <i>ваг</i>					
		100-100-100		200-200-200		300-300-300	
		без смены	со сменной	без смены	со сменной	без смены	со сменной
Количество сформированных поездов, <i>шт</i>	K_{AB}	726	726	1453	1453	2162	2162
	K_{AC}	740	740	1460	1460	2131	2131
	K_{ABC}	0	0	0	0	0	0
	K_{BC}	730	730	1428	1428	2151	2151
Время нахождения вагонов, <i>тыс. ваг-ч</i>	$\sum Nt_{ст.А}$	559,14	559,14	691,75	691,75	816,05	816,05
	$\sum Nt_{ст.В}$	367,65	367,65	521,48	521,48	671,11	671,11
Время работы маневрового локомотива, <i>тыс. лок-ч</i>	$Mt_{манА}$	0,81	0,81	1,6	1,6	2,36	2,36
	$Mt_{манВ}$	0,73	0,73	1,44	1,44	2,16	2,16
Время простоя поездного локомотива, <i>тыс. лок-ч</i>	$Mt_{плА}$	0,44	0,44	0,87	0,87	1,29	1,29
	$Mt_{плВ}$	3,25	0,18	6,47	0,36	9,58	0,54
Затраты E , <i>тыс. у.е.</i>	годовые	407,67	362,01	579,479	488,542	744,584	610,039

Во втором опыте были определены технико-эксплуатационные показатели работы железнодорожного направления, в зависимости от мощности вагонопотоков и необходимости смены поездного локомотива на попутной технической

станции В, при формировании двугруппных поездов согласно ПФП. При выполнении обмена групп в двугруппном поезде на попутной технической станции учитывалась классическая технология, а именно, обмен происходит на путях приемо-отправочного парка. Результаты исследований приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Эксплуатационные показатели работы станций направления при формировании двугруппных поездов согласно ПФП

Технико-эксплуатационные показатели		$N_{AB} - N_{AC} - N_{BC}$, <i>ваг</i>					
		100-100-100		200-200-200		300-300-300	
		без смены	со сменной	без смены	со сменной	без смены	со сменной
Количество сформированных поездов, <i>шт</i>	K_{AB}	0	0	0	0	0	0
	K_{AC}	0	0	0	0	0	0
	K_{ABC}	1466	1466	2913	2913	4293	4293
Время нахождения вагонов, <i>тыс. ваг-ч</i>	$\sum N_{t_{ст.А}}$	360,98	360,98	506,69	506,69	644,87	644,87
	$\sum N_{t_{ст.В}}$	457,37	457,37	648,14	648,14	836,59	836,59
Время работы маневрового локомотива, <i>тыс. лок-ч</i>	$Mt_{манА}$	1,1	1,1	2,18	2,18	3,22	3,22
	$Mt_{манВ}$	2,11	2,11	4,16	4,16	6,14	6,14
Время простоя поездного локомотива, <i>тыс. лок-ч</i>	$Mt_{плА}$	0,44	0,44	0,87	0,87	1,29	1,29
	$Mt_{плВ}$	4,81	0,18	7,77	0,36	10,67	0,54
Затраты E , <i>тыс. у.е.</i>	годовые	404,75	335,94	604,59	494,26	798,52	647,69

В зависимости от мощности вагонопотока выполнено сравнение результатов двух опытов. При мощности вагонопотока 100 *ваг/сутки* более эффективным является формирование только двугруппных поездов согласно ПФП, при этом экономия общих расходов без смены поездного локомотива составила 2,92 *тыс. у.е.*, а со сменой поездного локомотива – 26,06 *тыс. у.е.* При увеличении мощности вагонопотока формирование двугруппных поездов становится нецелесообразным и более выгодным есть формирование одnogруппных поездов согласно ПФП. Так, при мощности 200 *ваг/сутки* экономия расходов при формировании одnogруппных поездов без смены локомотива составила 25,1 *тыс. у.е.*, со сменой поездного локомотива – 5,72 *тыс. у.е.*; при мощности 300 *ваг/сутки* экономия расходов

составила 54,04 *тыс. у.е.* и 37,66 *тыс. у.е.* соответственно. Также определено, что при необходимости смены поездного локомотива на попутной технической станции В, затраты на формирование одногруппных или двухгруппных поездов значительно сокращаются, поскольку снижается простой поездного локомотива на попутной станции.

Однако, ориентируясь только на суммарные расходы и значения показателей работы по станции А, делать однозначный вывод о целесообразности формирования отдельной категории поездов невозможно. Ведь для достижения максимально эффекта от оперативного формирования двухгруппных поездов на базе одногруппных назначений необходимо рассматривать железнодорожное направление в целом, то есть необходимо учитывать те расходы, которые связаны с организацией обмена групп вагонов на попутной технической станции.

6.2 Определение отдельных показателей и величины эффекта от оперативного применения двухгруппных поездов

С помощью имитационной модели в третьем опыте использован подход к определению категории формируемого поезда в оперативном режиме с учетом прогноза поступления вагонов на избранные попутные назначения. В таблице 6.3 приведены технико-эксплуатационные показатели работы железнодорожного направления при использовании оперативного формирования двухгруппных поездов.

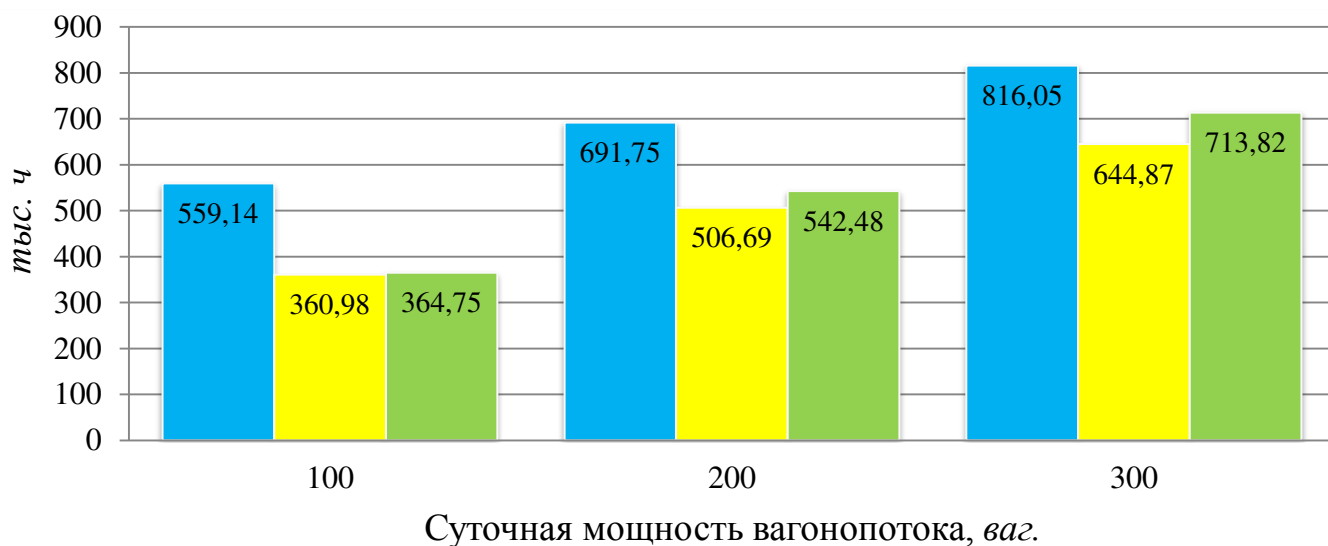
Сравнив величину затрат, полученную при оперативном формировании двухгруппных поездов с затратами при формировании поездов согласно ПФП, можно сделать вывод, что более эффективным является оперативное формирование двухгруппных поездов. Экономия расходов получена при любой мощности вагонопотока. Наибольший эффект при оперативном формировании двухгруппных поездов достигается при мощности вагонопотока 100 *ваг/сутки* и наличии смены поездного локомотива и составляет 48,54 *тыс. у.е.* в сравнении с формированием двухгруппных поездов в соответствии с ПФП. С увеличением мощности вагонопотока эффективность снижается. Так, при мощности вагонопотока 300 *ваг/сутки*, экономия расходов в сравнении с формированием одногруппных поездов согласно ПФП составила 28,45 *тыс. у.е.* без смены локомотива и 36,62 *тыс. у.е.* со сменой локомотива.

Таблица 6.3 - Эксплуатационные показатели работы станций направления при оперативном формировании двугруппных поездов

Технико-эксплуатационные показатели		$N_{AB} - N_{AC} - N_{BC}$, <i>ваг</i>					
		100-100-100		200-200-200		300-300-300	
		без сме- ны	со сме- ной	без сме- ны	со сме- ной	без смены	со сме- ной
Количество сформированных поездов, <i>шт</i>	K_{AB}	113	90	787	653	1595	1386
	K_{AC}	148	141	905	852	1750	1668
	K_{ABC}	1205	1235	1220	1407	947	1238
	K_{BC}	506	529	1099	1117	1846	1879
Время нахождения вагонов, <i>тыс. ваг-ч</i>	$\sum N_{t_{ст.А}}$	364,75	363,68	542,48	532,64	713,82	697,9
	$\sum N_{t_{ст.В}}$	364,53	333,22	521,54	499,45	673,20	666,02
Время работы маневрового локомотива, <i>тыс. лок-ч</i>	$Mt_{манА}$	1,05	1,05	1,85	1,88	2,55	2,61
	$Mt_{манВ}$	1,73	1,76	2,39	2,54	2,84	3,08
Время простоя поездного локомотива, <i>тыс. лок-ч</i>	$Mt_{плА}$	0,44	0,44	0,87	0,87	1,29	1,29
	$Mt_{плВ}$	4,09	0,13	6,8	0,28	9,65	0,47
Затраты E , <i>тыс. у.е.</i>	годовые	357,90	287,40	539,46	432,25	716,14	573,42

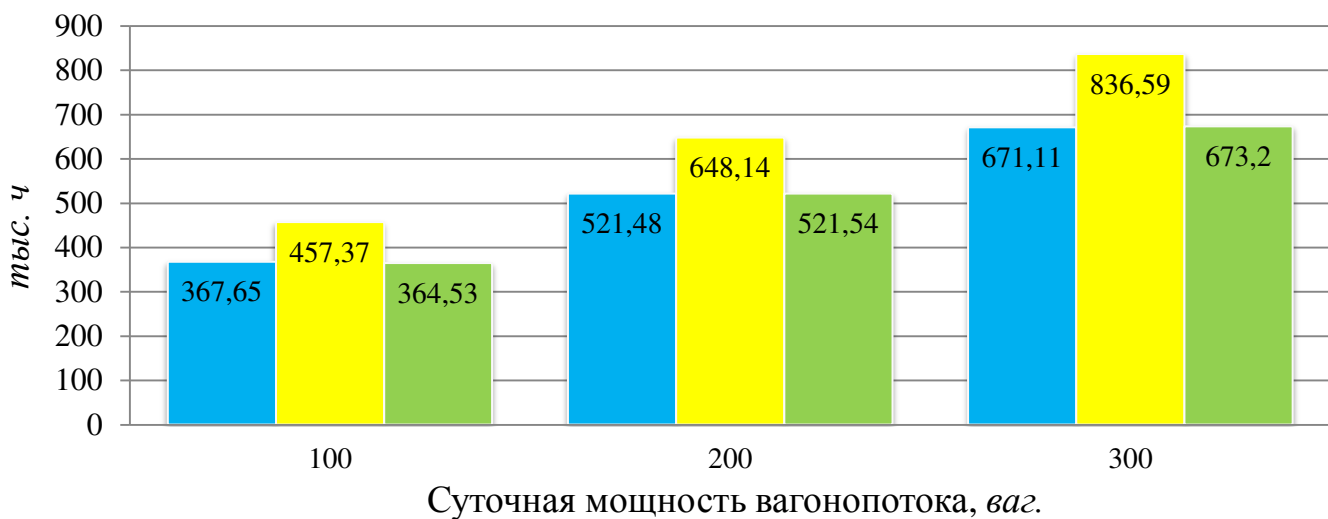
Согласно полученных результатов технико-эксплуатационных показателей и суммарных расходов на организацию вагонопотоков в поезда строятся диаграммы зависимостей их от мощности вагонопотоков. Зависимость времени простоя вагонов под накоплением от мощности вагонопотока на станциях А и В и на направлении в целом без смены локомотива показано на рисунках 6.1 - 6.3. Аналогичные зависимости со сменой локомотива приведены в приложении В (рисунки В.1 - В.3).

Как видно из рис. 6.1 время простоя вагонов под накоплением на станции А наибольшее при формировании одnogруппных поездов согласно ПФП, а наименьшее при формировании двугруппных поездов согласно ПФП. При этом, с увеличением мощности вагонопотока, простой увеличивается. В то же время продолжительность простоя под накоплением на станции В наибольшая при формировании двугруппных поездов согласно ПФП, а наименьшая при оперативном формировании двугруппных поездов (см. рис. 6.2).



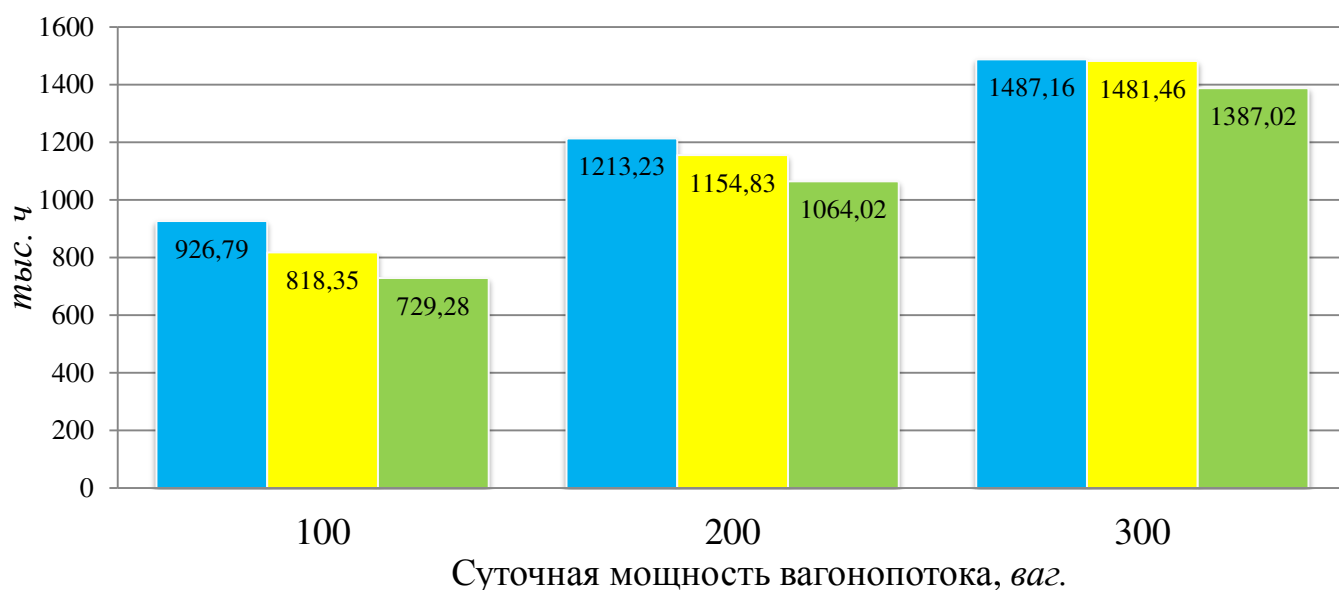
- – формирование одногруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – формирование двухгруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – оперативное формирование двухгруппных поездов.

Рисунок 6.1 – Продолжительность простоя вагонов под накоплением на станции А



- – формирование одногруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – формирование двухгруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – оперативное формирование двухгруппных поездов.

Рисунок 6.2 – Продолжительность простоя вагонов под накоплением на станции В



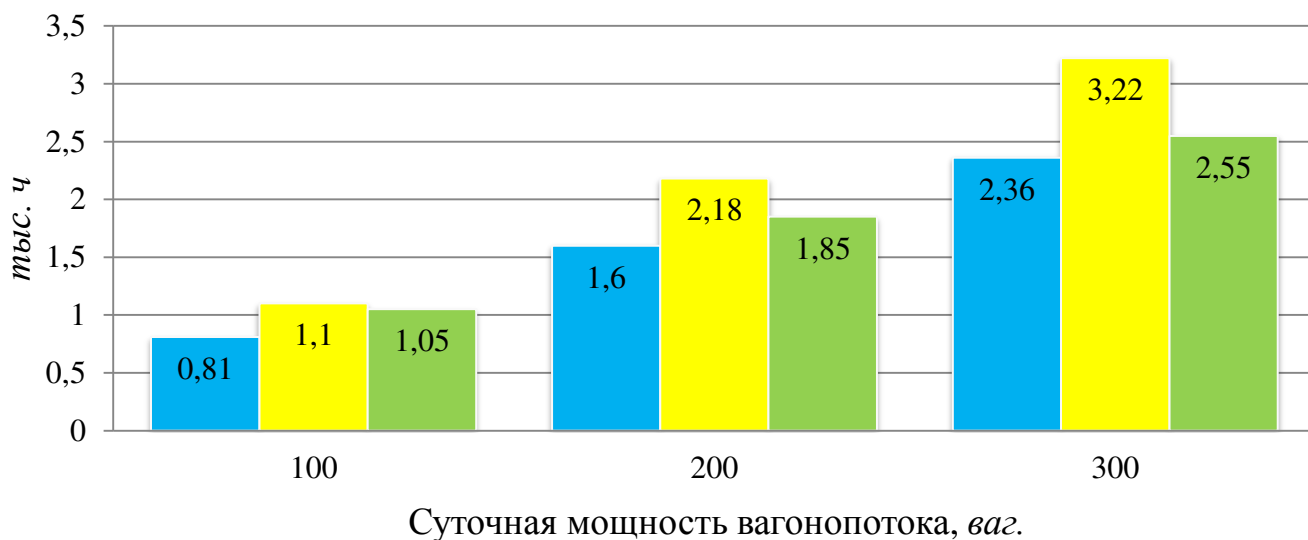
- – формирование одногруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – формирование двухгруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – оперативное формирование двухгруппных поездов.

Рисунок 6.3 – Продолжительность общего простоя вагонов под накоплением на направлении

Анализ общей продолжительности простоя вагонов под накоплением на направлении (см. рис. 6.3) показывает, что при оперативном формировании двухгруппных поездов суммарный простой на направлении наименьший.

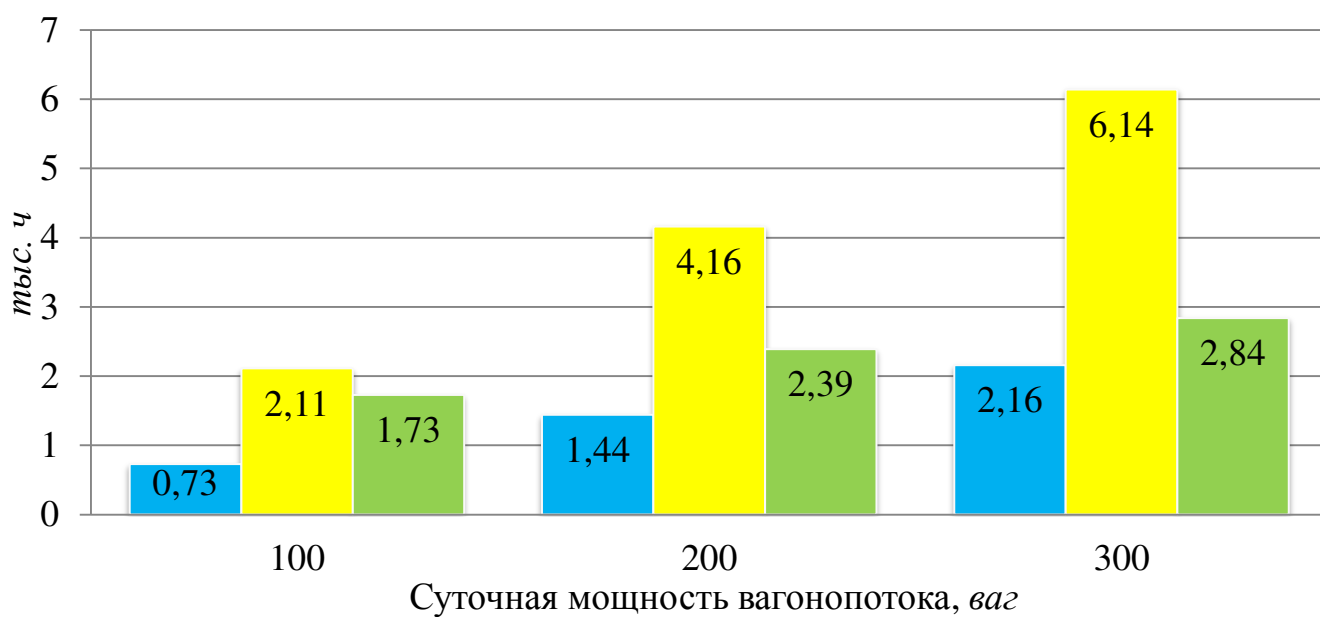
Диаграммы продолжительности работы маневрового локомотива на станциях А и В при отсутствии смены локомотива приведены на рисунках 6.4. и 6.5. Аналогичные зависимости при наличии смены локомотива приведены в приложении В (рисунок В. 4 и рисунок В. 5).

Приведенные рисунки свидетельствуют о том, что продолжительность работы маневрового локомотива наибольшая при формировании двухгруппных поездов согласно ПФП. При этом время работы маневрового локомотива на станции В приблизительно вдвое больше чем на станции А, что связано с необходимостью выполнения обмена групп. С увеличением мощности вагонопотока эта величина растет. Наименьшая продолжительность работы маневрового локомотива при формировании одногруппных поездов согласно ПФП.



- – формирование одногруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – формирование двухгруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – оперативное формирование двухгруппных поездов.

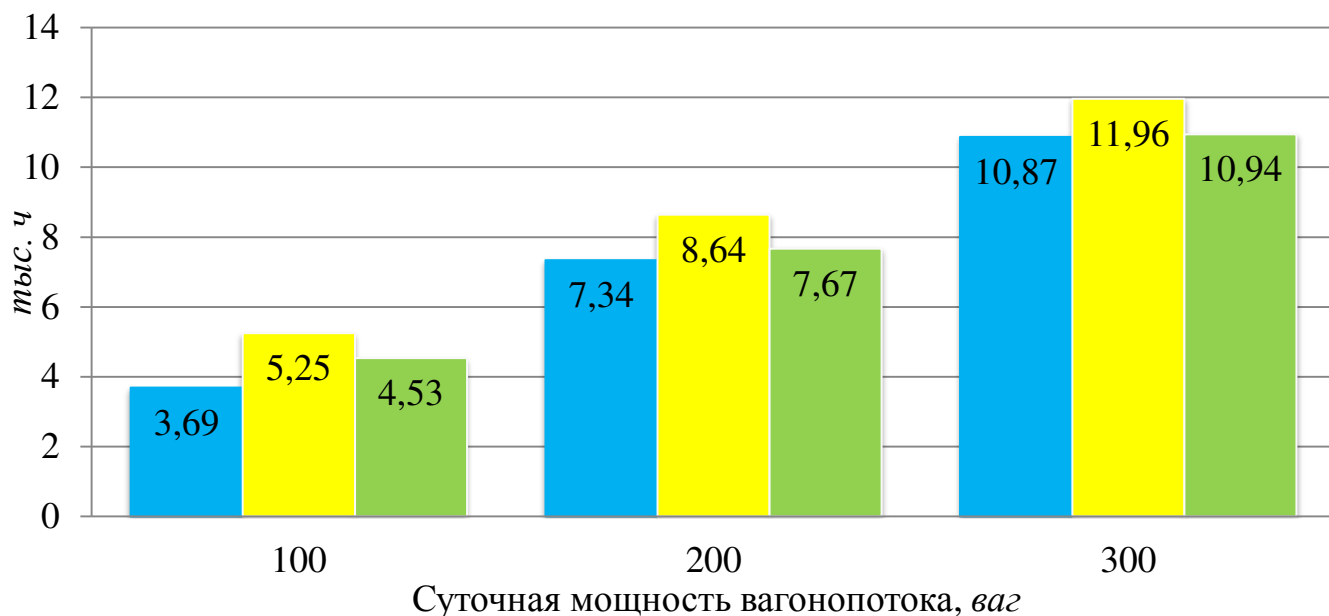
Рисунок 6.4 – Продолжительность работы маневрового локомотива на станции А



- – формирование одногруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – формирование двухгруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – оперативное формирование двухгруппных поездов.

Рисунок 6.5 – Продолжительность работы маневрового локомотива на станции В

Еще одним из влияющих факторов на экономию затрат при формировании поездов есть продолжительность простоя поездного локомотива, зависимость которого от мощности вагонопотока при отсутствии смены поездного локомотива приведена на рисунке 6.6. Аналогичная зависимость при наличии смены поездного локомотива приведена в приложении В (рисунок В. 6).



- – формирование одногруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – формирование двухгруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – оперативное формирование двухгруппных поездов.

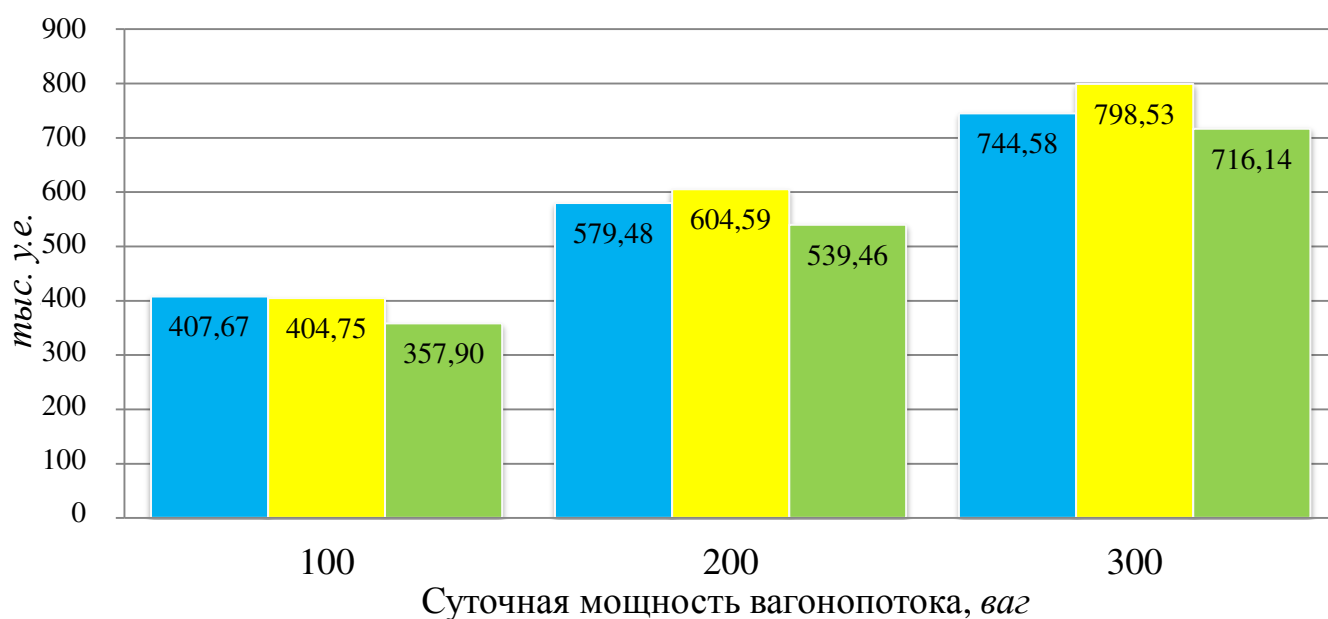
Рисунок 6.6 – Суммарная продолжительность простоя поездного локомотива на направлении

Анализ данных, приведенных на рис. 6.6, показывает, что при увеличении мощности вагонопотоков увеличивается и суммарная продолжительность простоя поездного локомотива на направлении в целом. При мощности вагонопотока 100 *ваг/сутки* наименьший простой поездного локомотива наблюдается при формировании одногруппных поездов согласно ПФП. При этом экономия продолжительности простоя поездного локомотива при оперативном формировании двухгруппных поездов, в сравнении с формированием двухгруппных поездов согласно ПФП, составила 0,72 *тыс. ч*, но превышает на 0,84 *тыс. ч* в сравнении с

формированием только одногруппных поездов согласно ПФП. Но уже при среднесуточной мощности вагонопотока 300 *ваг/сутки* простой поездного локомотива при оперативном формировании двухгруппных поездов приблизительно равен расходам при формировании только одногруппных поездов согласно ПФП.

Результаты анализа зависимости, приведенной на рис. В. 6 (Приложение В), показывает, что продолжительность простоя поездного локомотива в каждом из опытов почти одинаковая.

Приведенные технико-эксплуатационные показатели влияют на суммарные расходы при формировании одногруппного или двухгруппного поезда. На рисунке 6.7 приведена диаграмма суммарных затрат на формирование поездов в зависимости от варианта организации вагонопотоков и их мощности при отсутствии смены поездного локомотива. Аналогичная зависимость затрат на формирование поездов при необходимости смены поездного локомотива приведена в приложении В на рисунке В. 7.



- – формирование одногруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – формирование двухгруппных поездов на ст.А (в соответствии с ПФП);
- – оперативное формирование двухгруппных поездов.

Рисунок 6.7 – Диаграмма расходов по формированию поездов

На рис. 6.7 и рис. В. 7 (Приложение В) видно, что при увеличении мощности вагонопотока затраты на формирование поездов увеличиваются. При этом при любой мощности вагонопотока наименьшие расходы приходятся на оперативное формирование двугруппных поездов, это свидетельствует о том, что данный вариант организации вагонопотоков в данных условиях является наилучшим. Экономия расходов составляет от 28,45 *тыс. у.е.* в год (300 *ваг/сутки*, без смены поездного локомотива) до 56,29 *тыс. у.е.* в год (200 *ваг/сутки*, со сменой поездного локомотива).

Сравнивая результаты опытов, можно сделать вывод, что применение оперативного формирования двугруппных поездов позволяет увеличить экономию затрат на организацию и продвижение вагонопотоков на железнодорожном направлении даже при изменении мощности вагонопотоков, с которыми проводится обмен групп вагонов на попутной технической станции В. Следовательно, применение оперативного формирования двугруппных поездов экономически выгоднее организации формирования только одногруппных или двугруппных поездов согласно ПФП, поскольку существует значительная экономия затрат на их формирование.

ВЫВОДЫ

В данной работе рассмотрен вопрос повышения степени интероперабельности перевозки грузов за счет усовершенствования организации вагонопотоков. Особенно актуальным данный вопрос становится с увеличением количества перевозимого груза в международном сообщении.

Выполненный анализ исследований ученых, которые работали в направлении усовершенствования организации вагонопотоков, показал, что для решения поставленной задачи существует несколько направлений, а именно: маршрутизация перевозок и оперативное формирование групповых (двугруппных) поездов. Что касается маршрутизации, то почти все возможные назначения ПФП маршрутизированы.

В современных условиях происходят значительные колебания вагонопотоков в сторону снижения объемов перевозок. В таких условиях особо важное значение приобретает оперативное назначение групповых поездов, которое приведет к сокращению простоя вагонов под накоплением и повышения транзитности на технических станциях. Отмечается, что принятие решения относительно того или другого варианта формирования поездов требует значительных расходов времени на анализ всех влияющих факторов. Кроме этого необходимо выполнить достаточно большой объем расчетов по определению расходов по каждому из вариантов.

В данной работе выполнен анализ основных показателей, связанных с организацией вагонопотоков. Анализ оборота вагона за последние три года выявил, что фактическое значение обращения вагона в большинстве случаев превышает запланированное, кроме того, разрыв между этими значениями увеличивается с каждым годом. Поэлементный анализ оборота вагона показал, что значительная часть оборота (около 45 %) приходится на простой вагона на технической станции. Поскольку продолжительность простоя на технической станции транзитного вагона без переработки в целом не превышает норму, то внимание уделено величине простоя транзитного вагона с переработкой на технической станции. Как выявил анализ данной величины, наибольшая часть приходится на время нахождения вагона под накоплением на путях сортировочного парка (около 62 %). Это происходит за счет значи-

тельной неравномерности мощности вагонопотоков, что вызывает существенные затруднения в эксплуатационной работе. Именно в таких условиях эффективным является формирование групповых поездов на базе одnogруппных назначений.

В данной работе была разработана технология работы и определены нормы времени на выполнение технологических операций с поездами разных категорий на технических станциях А и В железнодорожного направления А-В-С.

Также была разработана методика определения эффективности оперативного формирования двугруппного поезда. Данная методика базируется на сравнении расходов на формирование двугруппного поезда и двух одnogруппных поездов, которые включают в себя расходы на головной станции и станции обмена групп.

Для возможности выполнения исследований по эффективности групповых поездов в оперативных условиях была разработана имитационная модель работы технической станции, которая включает в себя процедуру определения категории формируемого поезда.

В результате выполненных исследований, которые были проведены с помощью данной имитационной модели, было выявлено влияние мощности вагонопотока на технико-эксплуатационные показатели технических станций А и В и расходы в целом на направлении по каждому из предложенных вариантов организации вагонопотоков в поезда. Выявлено, что наиболее эффективным вариантом организации вагонопотоков является оперативное формирование двугруппных поездов. Это обеспечивает значительное снижение общих расходов железных дорог на организацию вагонопотоков в поезда в сравнении с формированием только одnogруппных или только двугруппных поездов согласно ПФП. При любой мощности среднесуточного вагонопотока наименьшие расходы на организацию вагонопотоков в поезда обеспечивает оперативное формирование двугруппных поездов. Это свидетельствует о том, что данный вариант организации вагонопотоков в данных условиях является наилучшим. Экономия расходов при этом составляет от 28,45 *тыс. у.е.* в год (300 *ваг/сутки*, без смены поездного локомотива) до 56,29 *тыс. у.е.* в год (200 *ваг/сутки*, со сменой поездного локомотива).

Сравнивая результаты опытов, можно сделать вывод, что применение оперативного формирования двугруппных поездов позволяет увеличить экономию затрат на организацию и продвижение вагонопотоков на железнодорожном направлении, даже при снижении или увеличении мощности вагонопотоков, с которыми производится обмен групп вагонов на попутной технической станции В. Следовательно, применение оперативного формирования двугруппных поездов экономически выгоднее организации формирования только одногруппных или двугруппных поездов согласно ПФП, поскольку возникает экономия затрат на их формирование.

При выполнении дипломной работы было выполнено исследование влияния на организацию вагонопотоков лишь двух факторов: мощность вагонопотока и наличие смены поездного локомотива. При выявлении других факторов возможно дальнейшее увеличение эффекта от оперативного управления вагонопотоками. Для использования предложенной разработки на железных дорогах Украины необходимо ее внедрение в систему поддержки принятия решений оперативного персонала, который занимается вопросом организации и продвижения поездопотоков на железнодорожных направлениях.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Буянова В.К. Внутридорожный план формирования поездов. Автоматизация и оперативное управление вагонопотоками [Текст] / В.К. Буянова, Н.В. Кондрахина, М.А. Пояркова. – М.: Транспорт, ВНИИЖТ, 1995. – 93 с.
2. Буянова В.К. Система организации вагонопотоков [Текст] / В.К. Буянова, А.И. Сметанин, Е.В. Архангельский. – М.: Транспорт, 1988. – 224 с.
3. Петров А.П. План формирования поездов: Опыт, теория, методика расчетов [Текст] / А.П. Петров. – М.: Трансжелдориздат, 1950. – 483 с.
4. Угрюмов А.К. Составление плана формирования одnogруппных технических маршрутов методом аналитических сопоставлений. Анализ. Предложения. [Текст]. Автореф. дисс. на с.уч.ст. канд. техн.н. / МИИЖТ. – М., 1953. – 37 с.
5. Ларионов В.С. Новый метод разработки плана формирования поездов [Текст] / В.С. Ларионов // Железнодорожный транспорт. – 1947. – № 10. – С. 20-25.
6. Тулупов Л.П. Расчет плана формирования с помощью вспомогательных таблиц [Текст] / Л.П. Тулупов // Сб. научн. тр. МИИТа. – 1949. – Вып. 79. – С.18-23.
7. Бернгард К.А. Расчет плана формирования одnogруппных технических маршрутов [Текст] / К.А. Бернгард // Труды ВНИИЖТ. – 1949. – Вып. 17. – С.10-17.
8. Дувалян С.В. Методы и алгоритмы решения задач планирования и учета на железнодорожном транспорте [Текст] / С.В. Дувалян. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
9. Дувалян С.В. Расчет плана формирования одnogруппных поездов при переменных нормативах и ограничениях размеров переработки вагонов на станциях [Текст] / С.В. Дувалян, А.Е. Гарслян. // Вестник ВНИИЖТ. – 1988. – № 6. – С. 1-5.
10. Папахов А.Ю. Внутридорожный план формирования поездов (информационное обеспечение, методика, расчет). [Текст] Дис. канд. техн. наук: 08.05.00: Москва, 1990 – 140 с.
11. Кутыркин А.В. Алгоритмы оперативной корректировки плана формирования поездов [Текст] / А.В. Кутыркин // Вестник ВНИИЖТ. – 1993. – № 8. – С. 1-6.
12. Аветикян А.А. Потенциал транзитности вагонопотоков: метод динамического прогнозирования транзитности. [Текст] / А.А. Аветикян. – М.:

Транспорт, 1981. – 191 с.

13. Осьминин А.Т. Рациональная организация вагонопотоков на основе методов многокритериальной оптимизации. [Текст] Дис. канд. техн. наук: 05.22.08: Самара, 2000 – 260 с.

14. Ковалев В.И. Расчет плана формирования поездов модифицированным методом совмещенных аналитических сопоставлений (с применением ЭВМ) монография. [Текст] / В.И. Ковалев, А.Т. Осьминин, Л.Б. Немцов. – СПб: ПГУПС, 2004. – 37 с.

15. Кудрявцев В.А. Расчет плана формирования одnogруппных технических маршрутов методом последовательного укрупнения струй вагонопотоков : Учеб. пособие [Текст] / В. А. Кудрявцев. – СПб: ПГУПС, 2003. – 35 с.

16. Боровой Н.Е. Маршрутизация перевозок грузов [Текст] / Н.Е. Боровой. – М.: Транспорт, 1978. – 216 с.

17. Осьминин А.Т. Определение эффективности организации маршрутов с мест погрузки в современных условиях [Текст] / А.Т. Осьминин, О.А. Никифорова // Вестник РГУПС. – 2008. – № 1(29). – С.91-100.

18. Верлан А.И. Совершенствование методов стимулирования отправительской маршрутизации на железнодорожном транспорте [Текст] / А.И. Верлан // Вісник ДНУЗТ. – 2014. – № 1(49). – С.75-85.

19. Прейскурант №10-01 «Тарифы на перевозку грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые Российскими железными дорогами». [Электронный ресурс]: в 2 ч. – Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6188

20. Expansion of U.S. Corn-based Ethanol from the Agricultural Transportation Perspective [Электронный ресурс] / USDA Ethanol Transportation Backgrounder. – 2007. – September. – Режим доступа: <http://www.nationalwatermelonassociation.com/docs/EthanolTransportation Backgrounder.pdf>

21. Forkenbrock, D. J. Comparison of external costsof rail and truck freight transportation / D. J. Forkenbrock // Transportation Research. Part A : Policy and Practice. – 2001. – Vol. 35. – Iss. 4. – P. 321–337.

22. Про затвердження Коефіцієнтів, що застосовуються до тарифів Збірника тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом України : Наказ Міністерства трансп. України 27.12.2002 № 934 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1015-02>

23. Козаченко Д.Н. Проблемы стимулирования отправительской маршрутизации на железнодорожном транспорте [Текст] / Д. Н. Козаченко // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2013. – № 3 (192). – С. 207–211.

24. Никифорова О.А. Совершенствование маршрутизации перевозок с мест погрузки в условиях рыночных отношений [Текст] / О.А. Никифорова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2007. – № 3 (12). – С. 28–39.

25. Никифорова О.А. Эффективность маршрутизации вагонопотоков с мест погрузки [Текст] Дис. канд. техн. наук: 05.22.08: СПб, 2008 – 167 с.

26. Бородин А.Ф. Управление вагонопотоками в современных условиях [Текст] / А.Ф. Бородин. // Железнодорожный транспорт. – 1996. – №5. – С. 10-15.

27. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України [Текст] – К.: ТОВ «Швидкий рух», 2005. – 100 с.

28. Ковалев В.И. Многокритериальная оптимизация плана формирования поездов [Текст] / В.И. Ковалев, Н.Н. Куценко, А.Т. Осьминин, И.И. Осьминина // Железнодорожный транспорт. – 2004. – №4. – С.25-26.

29. Божко М.П. Розрахунок економії вагоно-годин накопичення вагонів при формуванні двогрупних поїздів [Текст] / М.П. Божко, О.О. Мазуренко // Вісник ДНУЗТ. – 2008. – Вип. 21. – С.219-222.

30. Божко М.П. Визначення економії вагоно-годин накопичення при виконанні обміну груп вагонів у двогрупному поїзді [Текст] / М.П. Божко, О.О. Мазуренко // Вісник ДНУЗТ. – 2011. – Вип. 35. – С.193-197.

31. Соколов П.С. Экономика сортировочных станций и организация вагонопотоков [Текст] / П.С. Соколов. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – 284 с.

32. Бородин А.Ф. Об управлении вагонопотоками с учетом условий их подхода [Текст] / А.Ф. Бородин // Вестник ВНИИЖТ. – 1984. – № 7. – С. 4-9.

33. Бородин А.Ф. Новые принципы взаимодействия узлов и направлений

железных дорог [Текст] / А.Ф. Бородин // Технология перевозки грузов в условиях рыночной экономики. Сб. науч. тр. – М.: Транспорт, 1993. – С.48-56.

34. План формирования грузовых поездов на 1997-1998 гг. [Текст] – М.: Транспорт, 1997. – 240 с.

35. План формирования грузовых поездов на 1999-2000 гг. [Текст] – М.: КУНА, 1999. – 349 с.

36. Буянова В.К. Внутридорожный план формирования поездов. Автоматизация и оперативное управление вагонопотоками [Текст] / В.К. Буянова, Н.В. Кондрахина, М.А. Пояркова. – М.: Транспорт, 1995. – 93 с.

37. Покавкин В.А. Оперативное назначение групповых поездов и использование дифференцированных масс поездов в системе оптимальной организации вагонопотоков / В.А. Покавкин, О.Н. Мелешко // Вопросы увеличения пропускной и провозной способности железных дорог: Межвуз. тематич. сб. Ростов-на-Дону, 1985. – Вып.182. – с. 51-57.

38. Покавкин В.А. Расчеты эффективности групповой и одnogруппной маршрутизации перевозок. // Вопросы увеличения пропускной и провозной способности железных дорог: Межвуз. тематич. сб. – Ростов-на-Дону, 1983. – Вып.173. – С. 19.

39. Прохорченко А.В. Удосконалення технології корегування плану формування поїздів на основі погодженої організації групових поїздів оперативного призначення [Текст] / А.В. Прохорченко, Л.В. Корженівський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – №6/6(36). – С.37-40.

40. Бутько Т. В. Планування перевезень вантажу на основі раціональної організації вагонопотоків на залізниці із застосуванням теорії нечітких множин [Текст] / Т. В. Бутько, О. В. Лаврухін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2004. – Спецвипуск 7 (1). – С. 16-19.

41. Акулиничев В.М. Организация вагонопотоков [Текст] / В.М. Акулиничев. – М.: Транспорт, 1979. – 223 с.

42. Федотов Н.И. Расчет времени нахождения вагонов на участковых и сортировочных станциях. Вестник ВНИИЖТ. [Текст] – 1973. – № 481. – С.1-10.

43. Федотов Н.И. Колебания накопления вагонов в сортировочных парках [Текст] / Н.И. Федотов // Труды НИИЖТа. – Новосибирск, 1967. – Вып. 65. – С.19-27.

44. Ефименко Ю.И. Анализ колебаний часового поступления вагонов по назначениям плана формирования [Текст] / Ю.И. Ефименко // Труды ЛИИЖТа. – Л.: Транспорт, 1967. – Вып. 274. – С.167-176.

45. Иванков Н.М. К вопросу о влиянии структуры перерабатываемого вагонопотока на использование сортировочных путей [Текст] / Н.М. Иванков // Труды ДИИТа. – 1966. – Вып.61. – С.27-31.

46. Невзоров А.В. Колебания вагонопотоков отдельных назначений [Текст] / А.В. Невзоров // «Вопросы эксплуатации железных дорог». Труды БИИЖТа. – 1968. – Вып. 57-75. – С.19-22.

47. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті [Текст] / Міністерство транспорту України, Укрзалізниця. – Київ, 2003. – 81 с.

48. Сотников И.Б. Эксплуатация железных дорог в примерах и задачах [Текст] / И.Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1990. – 232 с.

49. Технологічний процес роботи станції Знам'янка [Текст] / Знам'янка, 2010 р.

50. Ковалев В.И. Многокритериальная оптимизация плана формирования поездов [Текст] / В.И. Ковалев, Н.Н. Куценко, А.Т. Осьминин, И.И. Осьминина // Железнодорожный транспорт. – 2004. – №4. – С.25-26.

51. Козаченко Д.М. Моделювання роботи залізничного напрямку [Текст] / Д.М. Козаченко, Г.Я. Мозолевич, О.В. Власюк // Вісник ДНУЗТ. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 28. – С.143-148.

52. Бобровский В.И. Функциональное моделирование железнодорожных станций в тренажерах оперативно - диспетчерского персонала [Текст] / В.И. Бобровский, Р.В. Вернигора // Математичне моделювання. – 2004. – №6. – С.17-21.

53. Коробйова Р.Г. Підвищення ефективності експлуатації технічних засобів залізничних вузлів при переробці місцевих вагонопотоків. [Текст] Дис. канд. техн. наук: 05.22.20: Дніпропетровськ, 2009 – 152 с.

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 2.1 – Помесячный анализ выполнения оборота вагона на дирекции за 2016 г.

Рисунок 2.2 – Динамика изменения среднегодовой величины оборота вагона на дирекции за 2016-2018 гг.

Рисунок 2.3 – Распределение факторов, влияющих на величину оборота вагона

Рисунок 2.4 – Распределение факторов, которые влияют на общее время простоя транзитного вагона с переработкой на технической станции

Рисунок 2.5 – Схема прерывного процесса накопления

Рисунок 2.6 – Схема частично прерывного процесса накопления

Рисунок 2.7 – Схема непрерывного процесса накопления

Рисунок 2.8 – Распределение вагоно-часов простоя под накоплением отдельного состава на станции А

Рисунок 2.9 – Распределение вагоно-часов простоя под накоплением отдельного состава на станции В

Рисунок 3.1 – Железнодорожное направление А-В-С

Рисунок 3.2 – Организация вагонопотоков на железнодорожном направлении в оперативных условиях

Рисунок 3.3 – Технология работы железнодорожного направления при организации вагонопотоков по варианту 1

Рисунок 3.4 – Технология работы железнодорожного направления при организации вагонопотоков по варианту 2

Рисунок 3.5 – Расчетная схема определения длин полурейсов при расформировании состава

Рисунок 3.6 – Технология работы с поездом, прибывшим в расформирование, на станции В

Рисунок 3.7 – Технология обмена групп вагонов в двугруппном поезде в транзитном парке

Рисунок 4.1 – Варианты процесса накопления на головной станции А вагонов одного назначения

Рисунок 4.2 – Завершающая группа вагонов z , при $p = R$

Рисунок 4.3 – Завершающая группа вагонов z , при $p < R$

Рисунок 4.4 – Зависимость экономии простоя вагонов под накоплением от влияющих факторов для отдельного назначения

Рисунок 4.5 – Процесс накопления на станции В вагонов назначения С (при условии $R + m_{\text{я}} < m$)

Рисунок 5.1 – Структура функциональной модели железнодорожного направления

Рисунок 5.2 – Процедура определения категории формируемого поезда

Рисунок 5.3 – Структура функциональной модели технической станции

Рисунок 6.1 – Продолжительность простоя вагонов под накоплением на станции А

Рисунок 6.2 – Продолжительность простоя вагонов под накоплением на станции В

Рисунок 6.3 – Продолжительность общего простоя вагонов под накоплением на направлении

Рисунок 6.4 – Продолжительность работы маневрового локомотива на станции А

Рисунок 6.5 – Продолжительность работы маневрового локомотива на станции В

Рисунок 6.6 – Суммарная продолжительность простоя поездного локомотива на направлении

Рисунок 6.7 – Диаграмма расходов по формированию поездов

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1.1 – Поправочные коэффициенты к тарифу для маршрутных отправок в Российской Федерации

Таблица 3.1 – Определение норм времени на выполнение операций с поездом своего формирования

Таблица 3.2 – Нормирование операций, связанных с выполнением маневровых передвижений

Таблица 4.1 – Исходные данные для примера расчета $W_{ек}$

Таблица 4.2 – Определение величины экономии вагоно-часов простоя $W_{ек}$

Таблица 6.1 – Эксплуатационные показатели работы станций направления при формировании только одnogруппных поездов

Таблица 6.2 – Эксплуатационные показатели работы станций направления при формировании двугруппных поездов согласно ПФП

Таблица 6.3 - Эксплуатационные показатели работы станций направления при оперативном формировании двугруппных поездов

АННОТАЦИЯ

Приоритетное задание для Украины сегодня – это реализация своего транзитного потенциала как сухопутного моста между Европой и Азией. В связи с этим, главной проблемой, которую необходимо решить является интеграция железнодорожного транспорта Украины в международную транспортную сеть, повышение интероперабельности и безопасности железнодорожного транспорта. Чтобы наладить интероперабельную связь с железнодорожной сетью западных государств, необходимо решить ряд технических, правовых, экономических и эксплуатационных вопросов.

В эксплуатации железных дорог Украины одной из основных задач есть рациональная организация вагонопотоков в поезда. Оперативная корректировка плана формирования поездов способствует ускорению оборота вагонов.

В дипломной работе выполнен анализ основных показателей, связанных с организацией вагонопотоков, разработана технология работы и выполнено нормирование продолжительности операций с двухгруппными поездами на технических станциях, разработана методика определения эффективности оперативного формирования двухгруппного поезда и имитационная модель работы железнодорожного направления, определена эффективность оперативного управления организацией вагонопотоков на железнодорожном направлении.

Ключевые слова: железнодорожное направление, вагонопоток, поездопоток, оборот вагона, план формирования поездов, двухгруппный поезд, имитационная модель.

SUMMARY

The priority task for Ukraine today is the realization of its transit potential as a land bridge between Europe and Asia. In this regard, the main problem that needs to be addressed is the integration of the railway transport of Ukraine into the international transport network, increasing interoperability and safety of railway transport. In order to establish an interoperable connection with the railway network of western countries, it is necessary to solve a number of technical, legal, economic and operational issues.

In the operation of the railways of Ukraine, one of the main tasks is the rational organization of wagonflows into trains. Operational adjustment of the plan for the formation of trains contributes to the acceleration of the turnover of cars.

The thesis analyzes the main indicators related to the organization of wagonflows, develops the working technology and normalizes the duration of operations with two-unit trains at technical stations, develops a method for determining the efficiency of operational formation of a two-unit train and simulates the operation of the railway direction, determines the efficiency of the operational management of wagonflows on the railway direction.

Keywords: railway direction, wagonflows, trainflows, car turnover, train formation plan, two-unit train, simulation model.