

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

НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА МАСТЕРСТВА И ПРОФЕССИЙ
СНАМ, 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 ОС «магистр»
Специальность 273 «Железнодорожный транспорт»
Специализация «Интероперабельность и безопасность
на железнодорожном транспорте»

ТЕМА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ СТАНЦИЯМИ В МЕЖДУНАРОДНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРАХ

Выполнил:

(подпись)

Кривецкий В. В.

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель:

к.т.н., доцент

(уч. звание, степень)

(подпись)

Вернигора Р.В.

(фамилия и инициалы)

Днепро
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

Кривецкого Василия Владимировича

(ФИО)

- 1. Тема работы** Совершенствование оперативного управления железнодорожными станциями в международных транспортных коридорах
- утверждено приказом по университету № 182ст от “ 27 ” “ 05 ” 2020 г.
- 2. Срок подачи студентом законченной работы** _____ 07.12.2020
- 3. Исходные данные для работы** Схема узловой технической станции, технологический процесс и технико-распорядительный акт станции, данные об объемах работы станции, характеристика международного транспортного коридора

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Название раздела	Объем %	Количество слайдов
1. Проблемы оперативного управления железнодорожными станциями в современных условиях и пути их решения	15	3
2. Характеристика сортировочной станции в международном транспортном коридоре	15	3
3. Анализ системы оперативного управления поездообразованием на станции и направлений ее совершенствования	15	1
4. Исследование параметров поездопотоков на подходах к сортировочной станции	15	1
5. Разработка модели оперативного планирования станции	15	2
6. Совершенствование оперативного управления составовообразованием на основе моделирования	15	3
7. Экологические аспекты организации работы сортировочной станции	10	-
	100	13

Студент _____ / Кривецкий В. В./

Научный руководитель _____ / Вернигора Р.В./

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АРМ – автоматизированное рабочее место
- АСУ ГП УЗ-Е – автоматизированная система управления грузовыми перевозками Укрзализныци (единая)
- ВЧД – вагонное депо
- ГИД – график исполненного движения поездов
- ДНУЖТ (ДИИТТ) – Днепро́вский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна
- ДНЦ – поездной диспетчер
- ДСП – дежурный по станции
- ДСЦ – маневровый диспетчер
- ДСЦС – станционный диспетчер
- ЕС – Европейский союз
- ЕЭК – Европейская экономическая комиссия
- ИВЦ – информационно-вычислительный центр
- ИМ – информационная модель
- МВ – маневровая вышка
- МПО – модель парка отправления
- МПП – модель парка приема
- МПС – министерство путей сообщения
- МСП – модель сортировочного парка
- МТК – международный транспортный коридор
- ООН – Организация объединенных наций
- ОРС – очередность роспуска составов
- ОСЖД – Организация сотрудничества железных дорог
- ПКО – пункт коммерческого осмотра вагонов
- ПМС – путевая машинная станция
- ПТО – пункт технического обслуживания вагонов
- ПЧ – дистанция ремонта и содержания пути
- ТЧ – локомотивное депо
- СМО – система массового обслуживания

СМП – строительно-монтажный поезд

СНГ – Содружество независимых государств

СППР – система поддержки принятия решений

СССР – Союз Советских Социалистических Республик

СТЦ – станционный технологический центр

ТО – техническое обслуживание

ТНЛ – телеграмма-натурный лист

ТЧ – локомотивное депо

УЗ – Укрзалізниця

УкрГУЖТ – Украинский государственный университет

железнодорожного транспорта

ЧО – человек-оператор

ЦНИИ– Центральный научно-исследовательский институт

ШЧ – дистанция сигнализации и связи

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ЭЧ – дистанция энергоснабжения

ЭЦ – пост электрической централизации

FIFO – дисциплина обслуживания “first-in-first-out”

USD – доллар США

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	3
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ПРОБЛЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ СТАНЦИЯМИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ПУ- ТИ ИХ РЕШЕНИЯ	10
1.1 Проблемы совершенствования работы железнодорожных станций в современных условиях	10
1.2 Проблемы оперативного управления техническими станциями и пути их решения	14
1.3 Анализ путей совершенствования технологии составообразования на сортировочных станциях	21
1.4 Методы моделирования станционных процессов	25
2 ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ В МЕЖДУНАРОДНОМ ТРАНСПОРТНОМ КОРИДОРЕ	30
2.1 Проблемы развития железнодорожных перевозок в международном сообщении.	30
2.2 Развитие европейских транспортных коридоров	33
2.3 Сеть транспортных коридоров Украины	36
2.4 Характеристика критского транспортного коридора №9	38
2.5 Характеристика сортировочной станции Жмеринка	41
3 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДООБРАЗОВАНИЕМ НА СТАНЦИИ И НАПРАВЛЕНИЙ ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ	48
3.1 Задачи и проблемы оперативного управления поездообразованием	48
3.2 Анализ существующей системы оперативного планирования на станции	50
3.3 Система диспетчерского руководства составовообразованием	53
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЕЗДОПОТОКОВ НА ПОДХОДАХ К СОР- ТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ	56
4.1 Анализ неравномерности в работе технических станций Украины	56
4.2 Исследование продолжительности движения грузовых поездов между техническими станциями	61

	6
5 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТАНЦИИ	66
5.1 Общая структура модели оперативного планирования	66
5.2 Модуль прогноза прибытия поездов на станцию	67
5.3 Модель работы сортировочной станции.....	74
6 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОВОБРАЗОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ	82
6.1 Исследование эффективности оперативного управления в подсистеме расформирования станции.....	82
6.2 Исследование процесса составообразования методами планирования эксперимента	87
7 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ	94
ВЫВОДЫ	100
БИБЛИОГРАФИЯ.....	102
ПРИЛОЖЕНИЕ А. СХЕМА СТАНЦИИ ЖМЕРИНКА.....	114
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. АНАЛИЗ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПО УЧАСТКАМ НАПРАВЛЕНИЯ.....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ В. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СТАНЦИИ	120
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА СОСТАВООБРАЗОВАНИЯ.....	123
СПИСОК РИСУНКОВ.....	125
СПИСОК ТАБЛИЦ	127
АННОТАЦИЯ.....	128

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Стратегической целью Украины является членство в Европейском Союзе. Одним из направлений достижений этой цели является интеграция транспортной системы нашей страны в европейское транспортное пространство. Несмотря на снижение в последнее десятилетие объемов перевозок на 30%, железнодорожный транспорт остается в Украине основным перевозчиком грузов, обеспечивая 54% от общего грузооборота (а без учета трубопроводного транспорта – 78%).

Современные условия работы железных дорог характеризуются высоким уровнем конкуренции с другими видами транспорта. В этих условиях выдвигаются новые, более жесткие условия относительно эффективности использования подвижного состава и рациональной организации перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. Особую актуальность эти требования приобретают для вагонопотоков, которые продвигаются по международным транспортным коридорам (МТК) и следуют в международном сообщении. Именно скорость продвижения грузов в МТК является одним из основных индикаторов соответствия транспортной системы Украины европейским стандартам и требованиям.

Анализ показывает, что за последние 10 лет в 1,6 раза вырос оборот грузового вагона, который является комплексным показателем эффективности работы железных дорог. При этом более 40% от общей величины оборота вагона составляют простои на технических, прежде всего сортировочных станциях. Сократить время нахождения вагонов на технических станциях можно, в первую очередь, за счет совершенствования системы оперативного планирования поездной работы на станциях по расформированию и формированию поездов. Оперативный план должен учитывать как наличные ресурсы станции (технические, технологические, кадровые), так и стохастический характер подвода поездов, их параметров и продолжительности их обслуживания.

Учитывая сложность технологических процессов работы железнодорожных станций, решения той или иной задачи оперативного управления в боль-

шинстве случаев не является единственным. В связи с этим возникает проблема выбора наиболее эффективного решения из множества возможных. Кроме того, при решении управленческих задач диспетчеру необходимо учитывать множество влияющих факторов, не все из которых можно точно оценить. В этих условиях многие оперативных решений принимаются субъективно, на основе накопленного опыта, а часто и интуитивно. Это приводит к тому, что конечный результат принятого таким образом решения не всегда является оптимальным, а иногда приводит к бракам в работе.

Одним из возможных решений указанной проблемы является оснащение рабочих мест диспетчерского персонала станций современными АРМами с системами поддержки оперативных решений (СППР). В основе такой СППР должна быть эффективная имитационная модель станции или ее отдельной подсистемы. Такая модель позволит за сравнительно короткое время оценить различные варианты организации работы при оперативном планировании. В этой связи, тема магистерской работы, которая посвящена совершенствованию системы оперативного планирования работы железнодорожных станций при организации перевозок в международных транспортных коридорах, является актуальной.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является уменьшение расходов, связанных с уменьшением расходов, связанных с непродуктивным простоем вагонов на технических станциях за счет совершенствования системы планирования их работы по расформированию и формированию составов при организации перевозок в международных транспортных коридорах. Поставленная цель достигается в результате решения следующих задач:

- анализ проблемы совершенствования системы оперативного планирования на технических станциях;
- анализ системы международных транспортных коридоров (МТК) на территории Украины;
- оценка технико-эксплуатационных параметров крупной сортировочной станции и системы оперативного планирования ее работы;

- разработка методики прогнозирования прибытия грузовых поездов на технические станции;
- разработка имитационной модели подсистем расформирования и формирования сортировочной станции и оценка их адекватности;
- оценка эффективности мероприятий по совершенствованию системы оперативного управления станцией;
- исследование влияния факторов на показатели работы станции.

Объектом исследования является процесс оперативного управления эксплуатационной работой технических станций в международных транспортных коридорах.

Предметом исследования являются взаимосвязи между системой оперативного планирования и показателями эффективности работы технических станций в МТК.

Методы исследования: методы системного анализа, математическая статистика и корреляционный анализ, методы имитационного моделирования, методы теории организации эксплуатационной работы железных дорог, аппарат искусственных нейронных сетей, экономико-математическое моделирование.

Апробация мероприятий по совершенствованию системы оперативного планирования работы в магистерском исследовании выполнена на примере станции Жмеринка Юго-Западной железной дороги.

1. ПРОБЛЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ СТАНЦИЯМИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

1.1 Проблемы совершенствования работы железнодорожных станций в современных условиях

Несмотря на существенное уменьшение в последние годы объемов перевозок, железнодорожный транспорт пока остается в Украине основным перевозчиком, на долю которого приходится почти 55% общего грузооборота страны (а без учета трубопроводного транспорта – 80%) и более 35% общего пассажирооборота [1, 2]. В настоящее время железные дороги Украины переживают очередной этап реформирования. При этом среди стратегических целей этого процесса является переход от технолого-административной к технолого-экономической модели управления железнодорожным транспортом и увеличение удельного веса железнодорожных перевозок [3] в общем объеме перевозок грузов всеми видами транспорта. «Стратегия развития железнодорожного транспорта Украины до 2021 г.» (Далее «Стратегия») в качестве одной из ключевых целей предусматривает «создание конкурентного перевозчика, подготовленного для открытого рынка грузовых железнодорожных перевозок» [4].

Особую актуальность и остроту эти задачи приобретают в условиях интеграции железных дорог Украины в европейское транспортное пространство. При этом одним из основных индикаторов эффективности транспортной системы является срок доставки грузов, который на железнодорожном транспорте напрямую определяется таким показателем как оборот вагона. Вместе с тем, за годы независимости оборот вагона в целом демонстрирует тенденцию к росту. Так, по сравнению с 1992 г., когда оборот составлял 3,6 сут., в 2018 оборот вырос почти в три раза до уровня 10,4 суток (рис. 1.1) [5; 6]. На фоне такого ухудшения показателей снижаются и объемы международных, в первую очередь, транзитных перевозок железными дорогами (с 2013 г. падение транзита – более, чем в три раза).

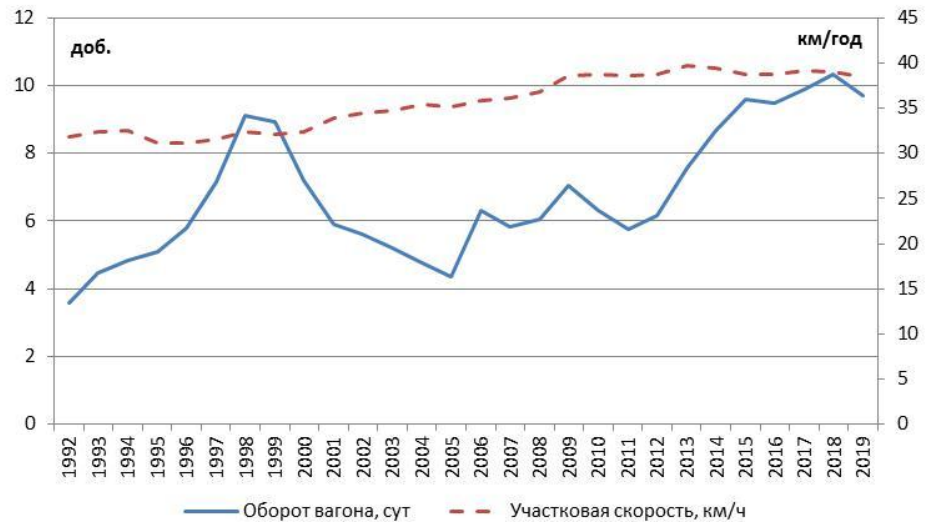


Рисунок 1.1 – Динамика изменения оборота вагона и участковой скорости

Важно отметить, что увеличение оборота вагона происходит на фоне общего увеличения участковой скорости на 21% – с 31,8 км/ч в 1992 г. до 38,5 км/ч в 2019 г (рис. 1.1.). Таким образом, основной причиной роста оборота вагона является увеличение простоев вагонов на станциях. Исследования показывают, что от 40% до 45% общей величины оборота вагона составляют простои вагонов на технических станциях [7, 8]. Причем, как показал факторный анализ, именно простой на технических станциях наибольшее влияние (в 60% случаев) на изменение величины оборота вагона [9]. Стоит отметить, что среднее количество технических станций, которые проходит вагон течение полного рейса имеет тенденцию к уменьшению, однако оборот вагона при этом – растет (рис. 1.2).

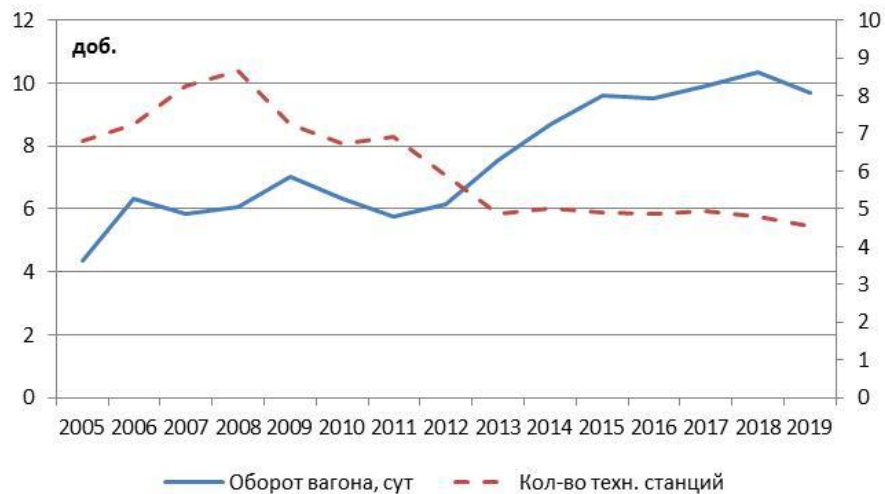


Рисунок 1.2 - Динамика изменения оборота вагона и количества технических станций, проходит вагон течение полного рейса.

Основная причина такой тенденции – рост простоев на технических станциях. Так, за последние 20 лет средний простой вагонов на технических станциях вырос в 2,3 раза: с 5,3 ч. в 1992 г. до 12,8 ч. в 2018 г. (рис. 1.3) [5, 6].

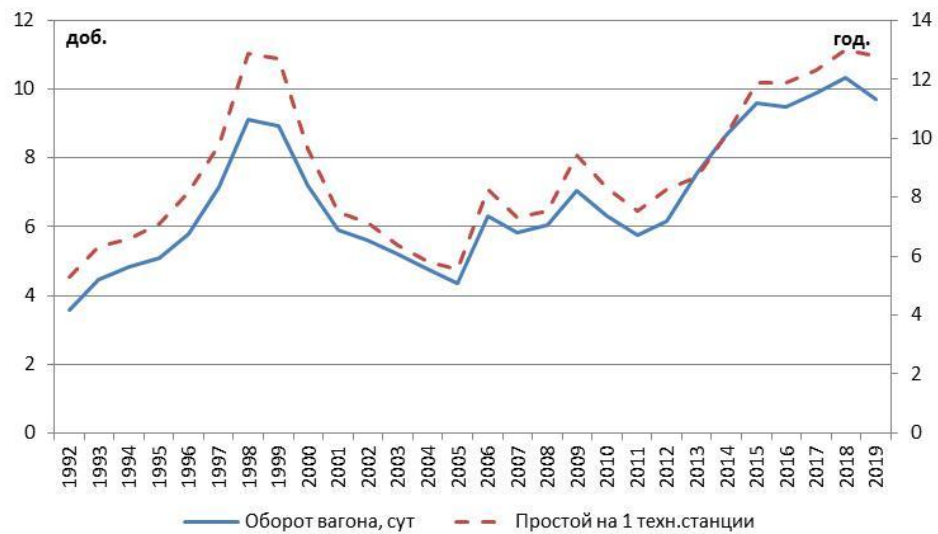


Рисунок 1.3 – Динамика изменения оборота вагона и простоя на 1 технической станции

Анализ рис. 1.3 показывает, что между величиной оборота вагона и величиной простоя вагона на технических станциях есть полная корреляция. Соответственно, для ускорения оборота вагона, прежде всего, необходимо уменьшать простои на технических станциях, к которым, в первую очередь, относятся сортировочные станции.

Сортировочные станции являются одними из важнейших элементов транспортной инфраструктуры страны и ключевыми узлами в системе организации вагонопотоков. Именно на сортировочных станциях происходит зарождение и погашения основных поездопотоков. От качества работы сортировочных станций значительно зависят как эксплуатационные, так и экономические показатели работы железнодорожной сети.

В настоящее время существенно изменились условия функционирования как железнодорожного транспорта в целом, так и сортировочных станций, в частности. Это обусловлено как общим переходом экономики страны на рыночные отношения и отказом от жесткого государственного планирования и регулирования перевозок, так и структурно-экономическими измене-

ниями на рынке транспортных услуг. К таким изменениям можно отнести: изменение формы собственности предприятий, которые являются отправителями и получателями грузов; переход от системы государственного планирования экономики к системе рыночного планирования; появление частного подвижного состава и постоянное увеличение его доли в общем парке вагонов; существенное увеличение объемов импортно-экспортных перевозок; расширение номенклатуры грузов, в т.ч. и в результате их диверсификации по отправителям; переориентацию грузопотоков, в частности, экспортных на морские порты и т.д. [10].

Вместе с тем технология и техническое оснащение сортировочных станций в последнее время демонстрируют свое несоответствие новым условиям работы, в результате чего растут простой поездов и вагонов, что приводит к увеличению оборота вагонов, сроков доставки грузов, и, как следствие – к росту себестоимости железнодорожных перевозок и снижения конкурентоспособности железных дорог на рынке транспортных услуг. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы совершенствования сортировочных станций и приведения их в соответствие с современными условиями работы.

В настоящее время на сети железных дорог Украины насчитывается около 30 сортировочных станций [11]. При этом все станции были построены в течение прошлого столетия, поэтому схемы многих станций складывались исторически, как и технология их работы [12]. Безусловно, в этих условиях, которые характеризуются, в т. ч. и снижением объемов перевозок, речь не идет о сооружении новых станций или о кардинальной реконструкции существующих, т.к. такие проекты требуют колоссальных инвестиций, а рентабельность их в настоящее время крайне сомнительна. Вместе с тем, технология работы станций, одной из основных составляющих которой является система оперативного планирования, требует безусловной адаптации под современные условия. При этом организационные мероприятия по совершенствованию технологии работы и планирования не требуют значительных инвестиций, однако должны базироваться на современных научных подходах и информационных технологиях.

1.2 Проблемы оперативного управления техническими станциями и пути их решения

Планирование составообразования на сортировочных станциях является основной задачей оперативного управления. Данная задача характеризуется большими объемами исходных данных, необходимых для расчетов. Кроме того, исходные данные постоянно меняются и уточняются. В таких условиях вероятность принятия обоснованных и своевременных управляющих решений оперативным персоналом значительно уменьшается. Поэтому на данный момент влияние оперативного персонала на процесс составообразования ограничивается отсутствием эффективных систем поддержки принятия решений (СППР). Одним из путей влияния на процесс составообразования является управление очередностью роспуска составов (ОРС) [13].

Первым исследованием, посвященным процессам накоплением вагонов, является работа профессора А. Н. Фролова [14]. В этом исследовании были поставлены следующие задачи – "насколько большим должно быть скопление вагонов в сортировочном парке, чтобы он мог правильно и непрерывно функционировать, то есть в определенные промежутки времени выпускать поездные составы в парк отправления". Результатом проведенной работы стала формула средней продолжительности накопления вагонов в сортировочном парке:

$$T = 12 \frac{m}{N} \quad (1.1)$$

де m – количество вагонов в составе поезда;

N – суточное поступление поездов на станцию

Большую работу по исследованию зависимости продолжительности нахождения вагонов под накоплением на сортировочных станциях от различных факторов выполнил профессор И. И. Васильев [15]. Им был предложен способ расчета выгоды выделения специализированного назначения, исходя из срока доставки грузов. Позже профессор И. И. Васильев дополнил требования соблюдения сроков доставки при специализации поездов принципом экономии вагоно-часов с подсчетом их по всему району специализации и предложил метод нахождения оптимального варианта специализации поездов с по-

мощью последовательных сопоставлений параллельных струй вагонопотоков. В основе разработанного метода лежит определение простоя под накоплением и сопоставления его с экономией, достигаемой от прохождения сквозными поездами следующих станций без переработки.

Дальнейшее развитие вопросы накопления вагонов имели в работах профессора К.А. Бернгарда [16, 17]. Автор рассмотрел три группы вопросов: меры по сокращению простоя вагонов под накоплением одnogруппных технических маршрутов, простой вагонов под накоплением при переломе весовой нормы поездов и меры по сокращению простоя вагонов в ожидании операций. Одной из первых официальных публикаций в СССР по поводу технологий формирования поездов на сортировочных станциях является работа [17]. Издание было рассчитано на составителей, дежурных по станции, маневровых диспетчеров и рассматривало на основе новейших на то время, методов формирования поездов примеры выполнения маневровой работы. Основным критерием качества выполнения расформирования-формирования составов согласно данной работы было время. Кроме этого предлагалось также учитывать себестоимость выполнения указанных мероприятий.

Серьезные исследования для определения продолжительности накопления вагонов при формировании поездов на технических станциях выполнены профессором А. П. Петровым [18, 19]. Им рассмотрены зависимости продолжительности накопления вагонов от периода подведения вагонов, от неравномерности подведения групп вагонов, местной нагрузки, количества назначений, величины состава поезда, количества прибывающих групп вагонов, остатка вагонов после уборки накопленного состава, перелома весовой нормы поездов, групповых поездов и прицепных групп. Исследованиями [19] было установлено, что при формировании тяжеловесных поездов за счет полного включения замыкающей группы в формирующиеся составы, можно значительно сократить простой вагонов под накоплением по сравнению с организацией поездов фиксированной массы. В дальнейшем в работах профессоров Сотникова Е. А., Акулиничева В. М., Грунтова П. С. был выполнен ряд

исследований [20-22] с целью уточнения закономерностей процесса накопления составов при отклонении массы грузовых поездов установленной нормы.

Теория взаимодействия станционных процессов была развита профессором И. Г. Тихомировым [23, 24]. Им сформированы понятия о равномерности и ритмичности станционных процессов, основные условия взаимодействия во всех элементах станции и с прилегающими участками, даны способы обоснования решений по сокращению межоперационных простоев, в том числе по первоочередной обработке и расформированию составов с замыкающими группами. Применение этих методов позволило ускорить отправление поездов со станции и улучшить планирование составовобразования.

В 1954 г. было издано руководство к увеличению скорости переработки составов [25], где отмечается, что освоение лучших методов расформирования-формирования поездов всеми работниками станций, и в первую очередь составителями, машинистами маневровых локомотивов, диспетчерами, дежурными по горкам и паркам, поможет значительно ускорить процесс расформирования и формирования поездов и ввести тем самым в действие новые резервы ускорения оборота вагона. Данное издание было результатом собранного Министерством путей сообщения опыта и имело практическое подтверждение статистических, данных по исследованию вопросов оптимизации процесса расформирования-формирования составов. Однако, авторы совсем не касаются вопросов комплексного анализа экономической целесообразности предлагаемых методов.

В 1958 г. в [26] были освещены основные теоретические положения маневровой работы на железнодорожном транспорте и приведена методика расчетов по выбору технологических приемов и необходимых маневровых средств, дана оценка способов маневровой работы, применяется на практике и рассмотрены некоторые другие вопросы. Следует отметить, что в то время исследователи маневровой работы почти не занимались вопросами комплексной экономической оценки маневров с учетом типа и режимов работы локомотива, затрат на сооружение устройств, продолжительности и стоимо-

сти маневровых работ, поэтому [26] это одна из первых работ, в которой поднимается вопрос технико-экономического анализа работы станции.

При оперативном планировании работы станций первостепенное значение имеет наличие полной и достоверной информации. В 1960-х годах значительное внимание уделялось повышению уровня информационного обеспечения планирования. Станция Пермь-Сортировочная была одной из первых, на которой открылся вычислительный станционный центр [27]. Это позволило работникам станции создать систему оперативного управления без использования ЭВМ. Среди особенностей этой системы можно выделить [28]:

- внедрение твердого графика движения местных вагонопотоков;
- накопление всей информации в одном центре обработки;
- планирование составообразования по 4-х и 6-ти часовых периодах.

Важным вопросом является выбор критерия оптимальности оперативного планирования. В работе [27] в качестве критерия предлагается использовать суммарные эксплуатационные расходы, связанные с простоем вагонов и локомотивов, отнесенные отнесены на один отправленный поезд.

Работники Пермского отделения железной дороги вместе с вычислительным центром Пермского университета, используя опыт Уральского отделения ЦНИИ МПС [27, 29, 30], разработали довольно прогрессивную методику оперативного планирования работы, которая сводится к следующему алгоритму. Начинается расчет по определению плана отправления готовых в начальный момент составов и прикрепления к ним локомотивов. После этого планируется подвод на станцию поездов каждой категории с учетом жесткого или вариантного графика движения, количества замыкающих групп вагонов, времени завершения работы локомотивных бригад, моментов освобождения путей в парке приема и др. Далее рассчитывается план обработки поездов в парке приема на основе технологии, количества бригад осмотровиков, и характеристик распределения продолжительности обработки составов. Результатом расчета являются моменты готовности составов к расформированию, на основе которых выбирается очередность расформирования составов.

После этого, на основе моментов завершения накопления составов определяется очередность формирования составов и очередность их отправления со станции. Выбор очередности роспуска составов предлагается осуществлять с помощью метода динамического программирования. При этом имеет место многошаговый процесс изменения состояния системы, которые фиксируются в дискретные моменты времени – по окончании очередной операции расформирования состава. Однако, разработанный программный продукт, который был введен в экспериментальную эксплуатацию на станции Пермь-Сортировочная обнаружил повышенную чувствительность данного алгоритма к точности прогноза прибытия поездов.

В 1960-х годах получили распространение методы сетевого планирования и управления. В работах [31-33] сетевое планирование было использовано для решения задачи ОРС, которая рассматривается как один из возможных способов воздействия на процесс составообразования, вместе с определением очередности формирования и перестановки сформированных составов в парк отправления. Перебор вариантов очередности роспуска предлагается сократить с помощью методов динамического программирования. На станции Челябинск-Главный были разработаны сетевые графики обработки поездов с замыкающими группами [34]. Для облегчения пользования графиками был разработан специальный планшет, с помощью которого можно было определить моменты завершения выполнения отдельных операций технологического процесса и таким образом составить план работы станции. В работе [35] описана методика оптимизации технологии работы подсистемы расформирования на основе анализа сетевых графиков выполнения операций. Основным принципом оптимизации является экономическое обоснованное выравнивание темпов работы всех элементов станции, обеспечение их взаимодействия между собой и с прилегающими участками.

Для задач оперативного планирования, выполнения оптимизационных расчетов по выбору очередности обработки прибывающих составов решающее значение имеет обеспечение полноты и достоверности исходных данных – прежде всего точности прогноза времени ожидаемого прибытия поездов. В

связи с этим в работе профессора [36] указано, что практические работы по АСУ на станции должны учитывать известную недостоверность прогноза ожидаемого прибытия поездов. В работе отмечено, что с учетом накопленного опыта следует ограничить детализированные комбинаторные расчеты по выбору очередности маневровых операций с поездами периодом до 2 часов, для которого реально получение достоверных данных.

Одним из эффективных путей повышения точности и достоверности оперативного планирования поездной работы технических станций является использование ситуационно-эвристического метода прогнозирования, разработанного профессором Л. П. Тулупов [37, 38]. Суть метода заключается в использовании для моделирования не средние или технологических норм, а оперативно рассчитанных на каждый технологический процесс и конкретный объект управления в зависимости от широкого спектра факторов, учитываемых включая погодные условия. Указанная методика исследовалась и другими учеными в работах [55-58].

В 1960-х и 1970-х г.г. значительное внимание уделяется установлению закономерностей процессов составообразования [39-42], исследуются продолжительность занятия сортировочных путей составами, влияние загрузки маневровых локомотивов и мощности назначений на объем повторной сортировки вагонов, на работу горки и нужное количество сортировочных путей [43, 44].

В 1980-х, с учетом значительного роста объемов перевозок и, соответственно, сортировочной работы, основной акцент исследователи делали на интенсификацию работы сортировочных горок, внедрение параллельного ро-спуска составов [45-48].

В конце 1980-х – в начале 1990-х г. г. с активным развитием средств вычислительной техники на сортировочных станциях начинается широкое внедрение автоматизированных систем управления (АСУ), среди решаемых задач которых ключевое место занимают вопросы оперативного планирования процессов расформирования-формирования составов, а также прогнозирования подхода поездов [49, 50].

Дальнейшее совершенствование методов оперативного планирования

было направлено на углубление детализации расчетов и на формализацию решений по обеспечению выполнения плана на этапе текущего диспетчерского регулирования. В [51] подробно проанализированы функции оперативно-диспетчерского персонала, связанного с управлением работы сортировочных станций, и предложил постановки задач и алгоритмы управления работой станции в целом, управление сортировочной работой, управление поездной и маневровой работой в отдельном станционном парке. Для выбора очередности обслуживания составов и групп вагонов предложено рейтинговые оценки [52]. Предлагается три возможные критерии – минимум простоя поездов у входных сигналов, максимальное уплотнение времени роспуска всех составов с целью выделения "окон", и минимум отклонений от заданного плана отправления поездов по количеству груженных вагонов заданной номенклатуры грузов и количества порожних вагонов заданного типа. Для решения задачи ОРС применяют метод дискретного программирования, который базируется на имитационном моделировании текущего варианта плана работы, оценку его по критерию и выбор оптимального варианта. Перебор вариантов осуществляется с помощью схемы комбинаторного анализа [53].

В работах [54, 55] для максимального использования перерабатывающей способности сортировочной горки при минимальном времени нахождения вагонов на станции предлагается создавать и поддерживать оптимальные условия работы сортировочной станции. Это достигается путем регулирования подвода к станции поездов. В случае несоответствия прогнозируемого поездопотока перерабатывающей способности сортировочной станции необходимо выполнять перераспределение сортировочной работы между станциями. Достичь этого можно за счет планирования составаобразования с учетом требований создания равномерного потока поездов и в необходимых случаях - оперативно-го изменения плана формирования поездов.

В 2000-х г.г. исследователи обращаются к новым рыночным условиям работы железных дорог, на первый план выходят экономические критерии эффективности оперативного планирования работы станций. Так, в работах [56, 57] предлагается стоимостные показатели при анализе вариантов очередности

обработки поездов на технических станциях определять с учетом динамических оценок вагонопотоков. Выделяются динамические оценки стоимости вагоно-часа в подсистеме расформирования и подсистеме формирования. Динамическая оценка состава в подсистеме формирования определяется как сумма динамических оценок каждого вагона, и зависит от потенциальных штрафов за несвоевременную доставку грузов, формы собственности и собственника вагонов, а также от дефицитности рода вагонов.

В последние годы для решения задачи выбора очередности роспуска составов применяются современные математические методы – комбинаторные [58], эвристические алгоритмы [59], имитационное моделирование [60-62], нечеткая логика [63], сети Петри [64]. Необходимо отметить, что конечной задачей всех указанных методов является создание эффективной СППР для диспетчерского персонала сортировочных станций, которая должна базироваться на точном прогнозе поездной работы станции и прилегающих участков.

1.3 Анализ путей совершенствования технологии составообразования на сортировочных станциях

Основным назначением сортировочных станций является расформирование и формирование поездов. При этом критерием эффективности такой работы является уменьшение времени нахождения вагонов на станциях.

Одним из путей интенсификации работы сортировочных горок является параллельный роспуск составов [47]. Однако, внедрение такой технологии требует, с одной стороны, соответствующего технического обеспечения (конструкция путевого развития, автоматизация сортировочного процесса), с другой – подготовительной работы на предыдущих станциях по подборке составов поездов. Кроме того, в условиях падения объемов перевозок применения параллельного роспуска является экономически неоправданным.

Вместе с тем, значительно замедляет переработку вагонов на сортировочных горках «раздробленность» отцепов. Учитывая, что скорость роспуска поезда на горке находится в обратной зависимости от числа отцепов в нем, очевидно, что величина отцепа значительно влияет на продолжительность

операций расформирования-формирования поездов. Примером полной организованности струй вагонопотоков по отцепам могут быть сборные и многогруппные участковые поезда, сформированные по принципу соответствия порядка расположения групп в составе поезда географическому расположению станций на участке. Таким образом, одним из способов ускорения переработки вагонов отдельных назначений может стать дальнейшее укрупнение отцепов, основанное на рациональном использовании сортировочных путей, выделенных попарно для накопления вагонов одного назначения. Это положение базируется на необходимости дифференцированного подхода к струям вагонопотоков [65].

Отсутствие технических средств для регулирования скорости движения вагонов по сортировочным путям или неправильное ее регулирование не позволяет получать высокие показатели заполнения сортировочного парка. В результате образуются межвагонные «окна» на путях, ликвидация которых требует дополнительной маневровой работы. Эти операции следует совмещать с маневрами по окончанию формирования составов и выполнять подтягивание вагонов маневровыми локомотивами, что позволит более рационально использовать горочной локомотивы для роспуска составов.

Другим методом интенсификации процесса поездообразования является повышение эффективности процесса накопления вагонов, которое напрямую связано со снижением продолжительности простоя вагонов под накоплением. Продолжительность простоя вагонов под накоплением зависит от [13]:

- качества составления плана формирования поездов;
- величины состава и величины групп вагонов в прибывающих для расформирования поездов;
- степени равномерности подхода вагонов в период их накопления на состав;
- изменений в структуре вагонопотоков и в мощности отдельных его назначений.

Основной рекомендацией по сокращению затрат времени на накопле-

ние составов считается организация подвода укрупненных групп вагонов к окончанию процесса накопления. Для этого при расформировании приоритет отдается составам с замыкающими группами [66]. Организованный подвод укрупненных групп вагонов к сортировочным станциям сокращает период накопления вагонов и снижает средний простой вагонов под накоплением. Организованный подвод должен предусматривать возможность ликвидации остатка вагонов до конца накопления, то есть после подвода последней группы вагонов процесс накопления составов данного назначения должен заканчиваться без остатка вагонов [13].

Для сокращения простоя вагонов под накоплением на сортировочных станциях используют формирования групповых поездов (из двух, реже трех групп). Поскольку простой под накоплением состава при прочих равных условиях зависит от его величины, то параллельное накопление двух полусоставов для двогруппного поезда требует примерно вдвое меньше времени [67].

Простой вагонов под накоплением зависит от мощности данного струи вагонопотоков, поэтому при ее изменении должно выполняться оперативная корректировка планов формирования, иначе уменьшение суточного количества вагонов может резко увеличить простой под накоплением [68].

Повышению эффективности процесса составообразования на станции также способствует максимально возможное совмещение операций по расформированию составов на горке и окончания формирования составов на вытяжках. Если формированием составов занимаются два и более маневровых локомотивов, использование их в любой вытяжной колеи без закрепления за определенными маневровыми районами позволяет в ряде случаев сократить время ожидания формирования составов [69].

Значительное увеличение простоя сформированного состава на станции происходит вследствие ожидания свободных поездных локомотивов и локомотивных бригад. С этой целью в [70] предложена методика оперативного планирования работы локомотивов и локомотивных бригад, основанная на прогнозировании моментов готовности к отправлению поездов и момен-

тов готовности к работе локомотивов и бригад.

В работе [71] авторы предлагают рассматривать процесс планирования составообразования не на отдельной станции, а на полигоне железной дороги в целом. Предлагается возможность планирования процесса составообразования с использованием специально созданной модели сортировочной станции, построенной на системе автоматизации математических расчетов MATLAB. Эта модель позволяет имитировать процессы расформирования и формирования составов, накопления и планирования составообразования в реальном масштабе времени с заданной глубиной прогноза. Полученные при моделировании варианты развития ситуации можно оптимизировать по выбранному критерию (например, минимум простоя составов в ожидании локомотива, бригады и нити графика движения). На основе полученных результатов работники диспетчерского аппарата могут осуществлять выбор регулировочных мероприятий и управленческих решений.

Таким образом, эффективная и стабильная работа сортировочной станции в отношении поездообразования обеспечивается, когда выполняются и совпадают по времени пять условий [72]: наличие вагонов одного назначения, достаточных для формирования поезда; наличие свободного пути в парке отправления; наличие исправного поездного локомотива; наличие локомотивной бригады соответствующей явки; наличие нитки графика, в том числе диспетчерского расписания.

Следует также отметить, что основой эффективной системы оперативного управления процессом составообразования должна быть мощная автоматизированная система управления, базирующаяся на современных адаптивных алгоритмах прогнозирования, моделирования и оптимизации. Следует отметить, что аналитические методы определения показателей работы станций не учитывают в достаточной степени взаимодействие и взаимное влияние отдельных элементов станций, недерминирований характер работы железных дорог, деятельность диспетчерского персонала и могут использоваться только для приближенных расчетов. Эффективным средством анализа

и оценки показателей функционирования станций в различных условиях, прогнозирования их технико-технологических и экономических параметров являются математические и имитационные модели, в сочетании с современными средствами вычислительной техники является мощным инструментом для исследования станций и оптимизации их работы.

1.4. Методы моделирования станционных процессов

Исследования по проблемам создания имитационных моделей железнодорожных станций для изучения и оптимизации их работы были начаты в 60-х годах прошлого века с появлением серийных ЭВМ [73, 74]. В указанных работах для анализа загрузки технических устройств станций предлагалось использовать статистическое моделирование технологических процессов. При этом для учета неравномерности работы станций моделируется случайный входящий поток поездов, а продолжительность обслуживания поезда на станции моделируется как случайная величина с заданным законом распределения. По результатам моделирования определяются «узкие» места на станции, задержки и простой поездов.

Дальнейшее развитие теория моделирования железнодорожных станций получила в фундаментальной работе [75], в которой сформулированы наиболее общие принципы формализации станций и узлов, излагается методология построения их функциональных моделей. В этой работе рекомендуется применять системный подход к построению модели железнодорожной станции или узла. При этом станция или узел рассматривается как многофазная система массового обслуживания, в которую поступают заявки на обслуживание (поезда, составы, локомотивы и др.). Станция структурно представляется в виде набора различных технологически связанных блоков, каждому из которых соответствует определенная фаза обслуживания заявки. С использованием разработанных моделей методом статистических испытаний предполагается получение количественной оценки работы станции в тех или иных условиях.

В этом следует особо отметить работы [76, 77], в которых сформулиро-

ваны основные проблемы и подходы к моделированию станций, приведены описания моделирующих алгоритмов и результаты исследований. Также рассмотрена проблема выбора очередности передвижений при возникновении конфликтных ситуаций. Для ее решению предложено установить систему правил по выбору очередности.

Одной из проблем, возникающих при разработке моделей станций, является сложность формализации схем путевого развития для моделирования перемещений подвижного состава. В [78] предложен способ формализации схемы станции, не требует разбивки горловин на элементы. Для моделирования передвижений составляется таблица возможных маршрутов, которая дополняется таблицей враждебности маршрутов.

Во многих работах для моделирования работы объектов транспортной инфраструктуры предлагается использовать аппарат теории массового обслуживания. Так, в [79] рассматривается возможность применения методов теории массового обслуживания для исследования работы парка приема сортировочной станции. При этом математический аппарат теории массового обслуживания используется для определения показателей работы парка приема в различных условиях.

В [80] процесс обслуживания объектов на станции моделируется укрупненно, без детализации на технологические операции. При этом продолжительность нахождения объекта в каждой из фаз обслуживания принимается постоянной или определяется как значение линейной функции в зависимости от параметров объекта и обслуживающих устройств. Попытки детализировать процесс обслуживания объектов в сложных транспортных системах привели к созданию моделей в виде сетей систем массового обслуживания (СМО), каждая из которых имитирует отдельную фазу обслуживания [81].

Еще одна методика построения модели сортировочной станции предложена в работе [82]. Модель станции представляет собой набор программных модулей, каждый из которых моделирует начало и окончание операций определенной технологической последовательности. При этом учитываются слу-

чайные колебания входного потока объектов и неравномерность их обслуживания. Предложен также метод формализации схем станций, который позволяет учитывать враждебности маршрутов при моделировании перемещений подвижного состава.

Методика построения имитационных моделей для определения пропускной способности транспортных систем разработана в [83]. В данной работе транспортный объект (станция) представляется формализованным описанием его постоянных устройств, переменных средств и системы оперативного управления работой. Реальную систему оперативного управления и, в частности, определение очередности обработки заявок в имитационной модели предложено описывать алгоритмами, с помощью которых выбираются решения конфликтных ситуаций.

Развитие средств вычислительной техники создало предпосылки для совершенствования систем имитационного моделирования. В работе [84] разработана система моделирования работы сортировочной станции ИСТРА. Имитационная модель используется для оперативного планирования работы станции в изменяющихся условиях и может быть применена при разработке автоматизированного рабочего места маневрового диспетчера.

Методы моделирования станций, основанный на использовании математического аппарата марковских случайных процессов, разработаны в УкрГУЖТ [85]. В этих работах станция рассматривается как многофазная одноканальная СМО. Для станции построен оргграф состояний, на базе которого составляется система уравнений Колмогорова для нахождения предельных вероятностей отдельных ее состояний. Указанные вероятности позволяют определить основные технико-технологические параметры станции, необходимые для оптимизации ее мощности. Данный метод достаточно эффективен, однако его сложность резко возрастает при переходе к многоканальным СМО и увеличении числа путей на станции.

Широкое распространение в последнее время получили модели транспортных объектов, разработаны с использованием аппарата сетей Петри [86,

88]. Технологический процесс обработки поездов в таких моделях представляется последовательностью позиций (состояний) и переходов. При этом переходы имитируют отделку объектов в течение заданного времени, а позиции характеризуют текущее состояние системы и определяют условия переходов. При выполнении условий переход срабатывает, в результате чего изменяется текущая разметка сети.

В [89] предложена имитационная модель сортировочной станции, разработанная на основе теории массового обслуживания, а также сетевого планирования и управления. Ее программная реализация выполнена с использованием современного объектно-ориентированного подхода. Технологический процесс обработки транзитного вагонопотока формализованный в модели на основе сетевого графика. При этом переходы между отдельными операциями могут быть детерминированными, вероятностными и условными. Условные переходы реализуются при наступлении определенных событий. Отличительной чертой модели является возможность интерактивного участия оператора, на основе предоставляемой информации (графики показателей, диаграммы использования ресурсов) может вмешиваться в процесс моделирования, выбирая тот или иной вариант технологической последовательности выполнения операций.

В последние годы для исследования работы железнодорожных станций все чаще используются современные программные системы моделирования. Так, в [90] разработана модель железнодорожной станции на основе системы Anylogic, в которой реализованы все три современные парадигмы построения имитационных моделей: системно-динамическая, дискретно-событийная и Агентная. Наличие современного графического интерфейса позволяет конструировать модели из многочисленных готовых объектов, содержащихся в готовых проблемно-ориентированных библиотеках. Например, для создания имитационных моделей работы объектов железнодорожного транспорта существует «Железнодорожная библиотека». Особенностью описания железнодорожных объектов с использованием этой библиотеки является представление операций перевозочного процесса с помощью определенных объектов библио-

теки. При этом поезда, локомотивы и вагоны представляются в виде «заявок», обрабатываемых этими объектами. Схема путевого развития станции задается группой векторных фигур - ломаных линий и окружностей, изображающие соответственно железнодорожные пути и стрелочные переводы. Маршрут движения задается перечнем элементов путевого развития; при движении контролируется занятость элементов маршрута, а стрелки переводятся автоматически.

Для имитационного моделирования работы сортировочной станции и выявления ее недостатков авторы научной работы [91] используют программу Advanced Model Designer (AMD), которая базируется на методах моделирования однородных и неоднородных СМО. Программа AMD позволяет корректировать структуру и параметры модели СМО, в том числе при моделировании.

В работе [92] предложена имитационная модель работы железнодорожного узла на основе агентного моделирования: на инфраструктурном уровне агентами являются железнодорожные пути, локомотивы, бригады; на сервисном уровне агентами являются подъездные пути, грузовые районы, сортировочные горки, вытяжные пути и тому подобное; управляющие агенты (агенты, моделирующие работу узлового диспетчера, дежурного по станции, маневрового диспетчера и т.д.) обеспечивают взаимодействие агентов инфраструктурного и сервисного уровней.

Заслуживает особого внимания опыт ученых ДНУЖТ, где под руководством профессора В. И. Бобровского создана научная школа по функциональному моделированию работы железнодорожных станций [93] и предложена концепция эргатического моделирования, которая предусматривает непосредственное участие человека-оператора в работе модели.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ В МЕЖДУНАРОДНОМ ТРАНСПОРТНОМ КОРИДОРЕ

2.1. Проблемы развития железнодорожных перевозок в международном сообщении

Украина, благодаря своему географическому положению и развитой транспортной инфраструктуре, имеет значительный потенциал в развитии международных перевозок, в т. ч. как страна-транзитер в логистической цепи товарообмена между Азией и Европой. По оценкам Британского института проблем транспорта Рэндел коэффициент транзитности Украины составляет 3,75 (при максимуме 5); это наилучший показатель среди стран Европы (для сравнения, у Польши, которая занимает вторую позицию, этот показатель составляет 2,92) [94].

В табл. 2. 1. Приведены данные об объемах перевозок грузов, которые выполнялись железнодорожным транспортом Украины в международном сообщении в период 2004-2019 г.г. [1, 3, 95].

Таблица 2.1 – Объемы перевозок железнодорожным транспортом Украины в 2004-2019 г. г., млн. т.

Год	Международное сообщение					Внутр.	Всего
	Импорт	Экспорт	Транзит	Итого	%		
2004	37,1	105,4	54,0	196,5	42,5	265,9	462,4
2005	37,5	104,2	51,9	193,6	43,0	256,7	450,3
2006	36,6	105,3	56,7	198,7	41,5	280,0	478,7
2007	36,7	109,7	68,6	214,9	41,8	299,3	514,2
2008	33,3	116,9	69,8	219,9	44,1	278,6	498,5
2009	23,2	108,8	45,5	177,5	45,3	214,0	391,5
2010	30,3	118,3	46,7	195,3	45,1	237,6	432,9
2011	32,0	131,3	51,0	214,4	45,7	255,0	469,3
2012	35,1	141,0	41,9	217,9	39,1	339,5	557,5
2013	34,9	145,5	34,0	214,5	48,3	229,1	443,6
2014	36,2	141,3	29,5	207,0	53,1	182,7	389,7
2015	36,2	127,8	24,2	188,1	53,8	161,9	350,0
2016	37,7	114,5	16,9	169,1	49,2	174,3	343,4
2017	43,9	116,1	19,6	179,6	52,9	160,0	339,6
2018	44,0	107,0	16,3	167,3	51,9	155,0	322,3
2019	43,0	116,0	14,4	173,4	55,4	139,5	312,9

Анализ показывает, что объемы международных перевозок, начиная с 2013 г. неуклонно снижаются. При этом наибольшее падение демонстрируют объемы транзитных перевозок, которые с 2008 г. уменьшились в 4,5 раза. Вместе с тем, если общие объемы перевозок с 2013 г. снизились на 44%, то объемы международных – на 20%, импорт при этом даже вырос на 23%; доля же международных перевозок за этот период увеличилась с 39% до 55% (рис. 2.1).

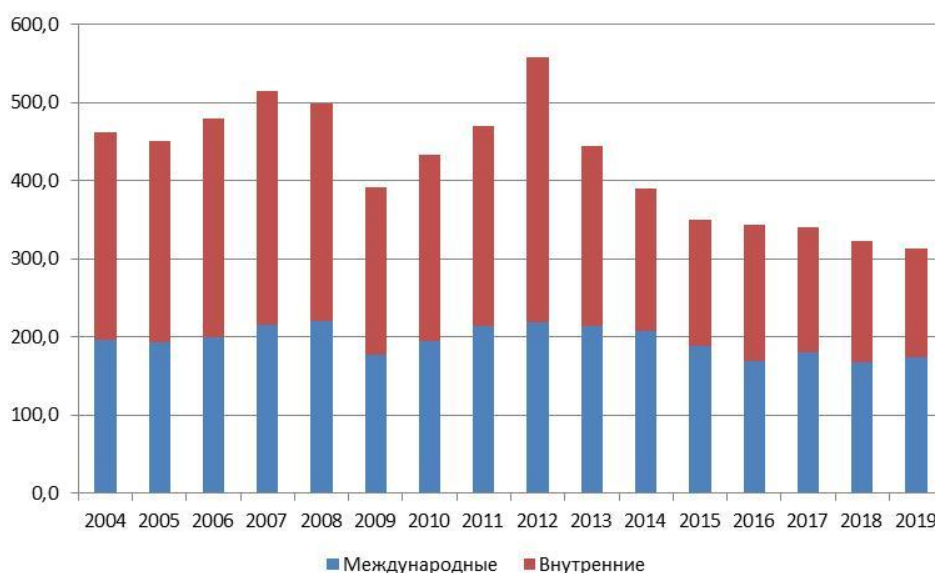


Рисунок 2.1 – Объемы железнодорожных перевозок в международном и внутреннем сообщении, млн. т.

В структуре международных перевозок преобладает экспорт, доля которого в 2019 г. выросла до 67%, на импорт приходится около 25%, на транзит – 8% (рис. 2.2).

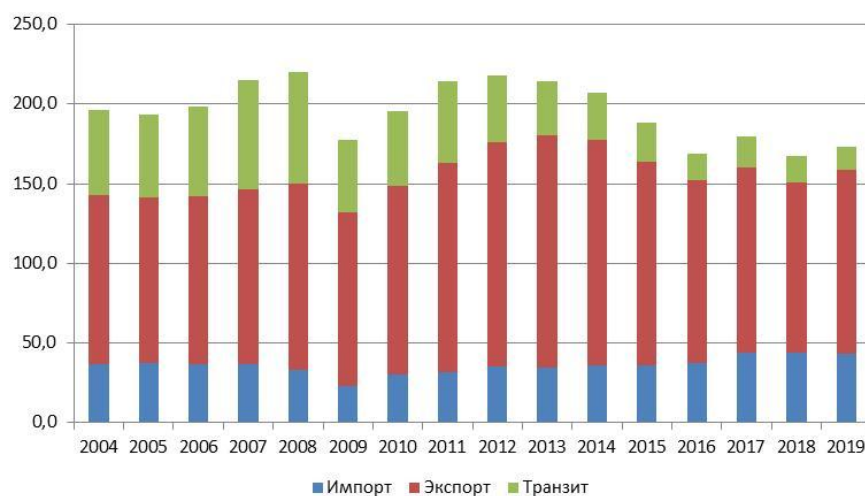


Рисунок 2.2 – Структура железнодорожных перевозок в международном сообщении, млн. т.

Одной из причин падения объемов, в первую очередь, транзитных перевозок является, безусловно, общая политическая та экономическая ситуация в стране (военный конфликт на востоке, блокада Российской Федерацией перевозок из и в Украину, общеэкономический кризис в стране и т.п.). Однако существует целый ряд других негативных факторов, которые препятствуют тому, чтобы наше государство полноценно и эффективно использовало свой транзитный потенциал. Эти проблемы лежат как и в сугубо, технической плоскости (изношенность транспортной инфраструктуры и подвижного состава, дефицит пропускной способности основных транспортных магистралей, неразвитость мультимодальных терминалов внутри страны и на сухопутных границах, различие в ширине с европейской железнодорожной системой и т.п.), так и в законодательной (высокий уровень портовых сборов, забюрократизованность и зарегулированность таможенных процедур, отсутствие гибкой тарифной политики для перевозчиков и т.п.).

Следствием этих проблем является низкая конкурентоспособность Украины на рынке транзитных перевозок, обобщающим свидетельством чего является индекс эффективности логистики (LPI), который для Украины в 2018 г. составил 2,84 (66 позиция); для сравнения, для Польши – 3,58 (28 позиция), а для Германии (лидер рейтинга) – 4,20 [96]. Низкий уровень развития транспортно-логистических услуг приводит к тому, что затраты на транспортировку грузов в Украине достигают 40% общей стоимости продукции [3, 97], что крайне отрицательно влияет на конкурентоспособность украинских товаров на мировых рынках. Как следствие – колоссальные потери экономики государства от несовершенной системы логистики.

Одним из путей преодоления такой ситуации для увеличения объемов международных, и в первую очередь, транзитных перевозок, является развитие технических и технологических параметров международных транспортных коридоров (МТК), увеличение скорости доставки грузов, гибкая тарифная политика, уменьшение бюрократических преград для организации перевозок.

2.2. Развитие европейских транспортных коридоров

В последние годы во многих странах Европы, СНГ, Азии развивается такое направление транспортной политики, как создание международных транспортных коридоров. В предложенном рабочей группой Еврокомиссии по проблемам развития транспорта варианте под «транспортным коридором» понимается наличие автомобильного, железнодорожного, водного и смешанного видов транспорта, которые выполняют свою деятельность, ориентируясь на единое направление.

Согласно определению Комиссии по внешней торговле при ООН: "Транспортный коридор – это часть национальной или международной транспортной системы, которая обеспечивает значительные международные грузовые и пассажирские перевозки между отдельными географическими районами, включает в себя подвижной состав и стационарные устройства всех видов транспорта, работающих на данном направлении, а так же совокупность технологических, организационно-правовых условий осуществления этих перевозок" [98].

После падения «железного занавеса» особенно актуальными стали проблемы общеевропейской транспортной интеграции. Этот стратегический курс Европейского Союза обусловлен открывшимися перспективами для торговли и экономики, улучшения транспортного сообщения между Западом и Востоком Европы. В 1994 г. на острове Крит 2-я Общеевропейская конференция определила 9 приоритетных транспортных коридоров с 13 ответвлениями с учетом основных направлений перевозок грузов и пассажиропотоков. Схема паневропейских транспортных коридоров приведена на рис. 2.3.

Стратегия Критских коридоров, предложенная Европейской Комиссией, заключалась в дальнейшем совершенствовании транспортной политики «Общего рынка». Она основана на соглашениях ООН о планировании европейской инфраструктуры автомобильного, железнодорожного и комбинированного транспорта, а также приоритетах их развития.

В мае 1993 г. ЕС представил в Брюсселе программу TRACECA (Транспортного коридора Европа – Кавказ – Азия), получившую впоследствии название «Возрождение Великого шелкового пути».

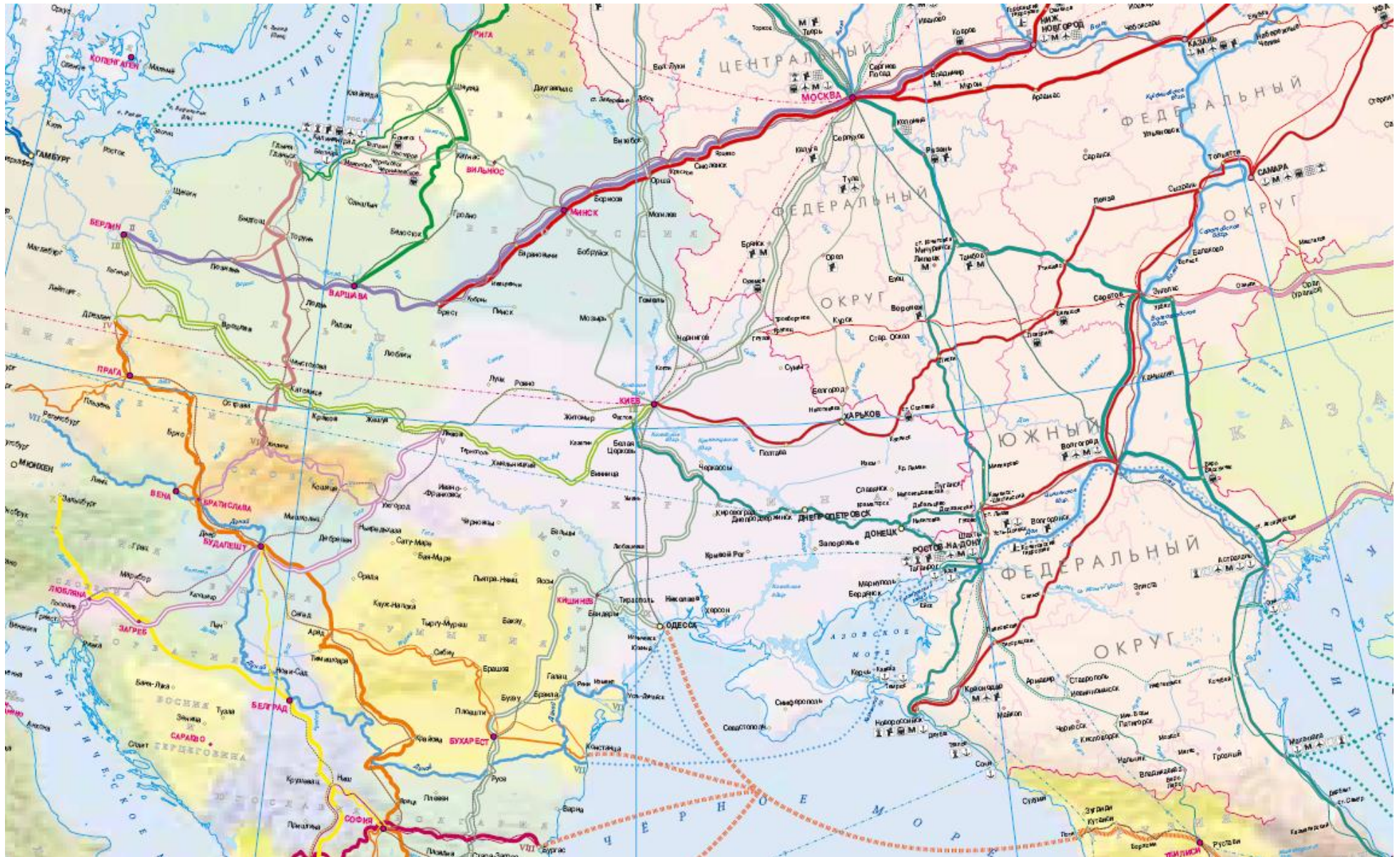


Рисунок 2.3 – Схема сети паневропейских (критских) международных транспортных коридоров

Инициатором, основным разработчиком и финансистом программы является Комиссия ЕС. Конкретные технические проекты по программе TRASECA были обсуждены на второй Общевропейской конференции по транспорту (о. Крит, май 1994). В принятой декларации были определены следующие цели программы TRASECA. В октябре 1996 года к программе TRASECA присоединилась и Украина. При этом целью программы является объединение транспортных маршрутов пяти центральноазиатских (Казахстан, Узбекистан, Кыргызстан, Туркменистан, Таджикистан), трех кавказских (Армения, Грузия, Азербайджан) и стран СНГ с европейскими транспортными сетями.

В течении 1997-2001 г.г. в рамках ОСЖД, членами которой являются 27 стран, в т.ч. все страны бывшего СССР (кроме Армении), восточноевропейские страны, Китай, Монголия, КНДР, Вьетнам и Иран, велась работа относительно продолжения Критских МТК на азиатский континент с целью формирования единой транспортной системы МТК Европа-Азия [99].

Прямыми функциями евразийских международных транспортных коридоров являются обслуживание экспортно-импортных перевозок, а также международного транзита. В настоящее время роль евроазиатского сухопутного транзита резко возросла. Это объясняется лавинообразным ростом объемов товарооборота между Европой и Азией. При этом Европа к настоящему моменту фактически достигла предела в развитии своего промышленного потенциала в объемных показателях для удовлетворения внутреннего спроса. Дальнейшее развитие производства в Европе связано лишь с увеличением экспорта в другие регионы мира, в первую очередь в Азию. Международные транспортные коридоры так же влияют на промышленную, продовольственную, демографическую, военную и технологическую безопасность.

Для Украины же высокие технологические требования международных транспортных коридоров, емкий отечественный спрос в сфере транспорта, верно выбранная государственная транспортная политика с учетом технологических требований способны обеспечить решение принципиальной задачи - обеспечения технологической безопасности государства.

2.3. Сеть транспортных коридоров Украины

Выгодное географическое положение Украины и наличие развитой сети железных дорог оказывают содействие проведению политики максимального привлечения международных транзитных грузо- и пассажиропотоков через ее территорию с целью увеличения валютных поступлений и улучшения экономического состояния государства, которое требует проведения гибкой тарифной политики, создания и увеличения резервов пропускной и перевозочной возможностей действующих железнодорожных направлений, определения новых транспортных коридоров, которые обеспечили бы надежные связи европейских, ближневосточных и африканских стран с Евразийским континентом. С этой целью в 1998 г. в Украине принята специальная программа [100].

Из девяти Критских МТК по территории Украины проходят три (рис. 2.4):

1) транспортный коридор №3 Берлин/Дрезден – Вроцлав – Катовице/Краков – **Львов – Тернополь – Жмеринка – Казатин – Киев** протяженностью 1640 км соединяет Западную Украину через Польшу с Германией.

2) транспортный коридор №5 Триест – Любляна – Будапешт – **Чоп – Львов** (автомобильный и железнодорожный) протяженностью 1595 км восстанавливает исторические связи бывшей Австро-Венгрии и дает выход к свободному порту Триесту Словении, Словакии, Венгрии и Западной Украине. В данном коридоре предусмотрены ответвления: 5а – Братислава – **Чоп – Львов** (Словакия – Украина) и 5б – **Львов – Ровно – Сарны** – Минск.

3) транспортный коридор №9 Александруполис – Пловдив – Бухарест – Кишинев – **Кучурган – Раздельная – Жмеринка – Киев – Нежин – Чернигов – Жлобин – Витебск – Санкт-Петербург – Хельсинки** является самым протяженным (около 3400 км), замыкает на востоке коммуникационную сеть Европы и является современным аналогом исторического пути «из варяг в греки». Кроме основных направлений маршрута через Москву и Псков предусмотрено создание транспортного коридора между Балтийским и Черным морями от Клайпеды и Калининграда через Вильнюс, Минск и Киев до Одессы.

По территории Украины также проходят транспортные коридоры ОСЖД, в т.ч. МТК ОСЖД №5 **Чоп – Львов – Жмеринка – Киев – Дарница – Полтава – Харьков – Купянск** – Тополи – Пенза – Челябинск – Казахстан – Китай.

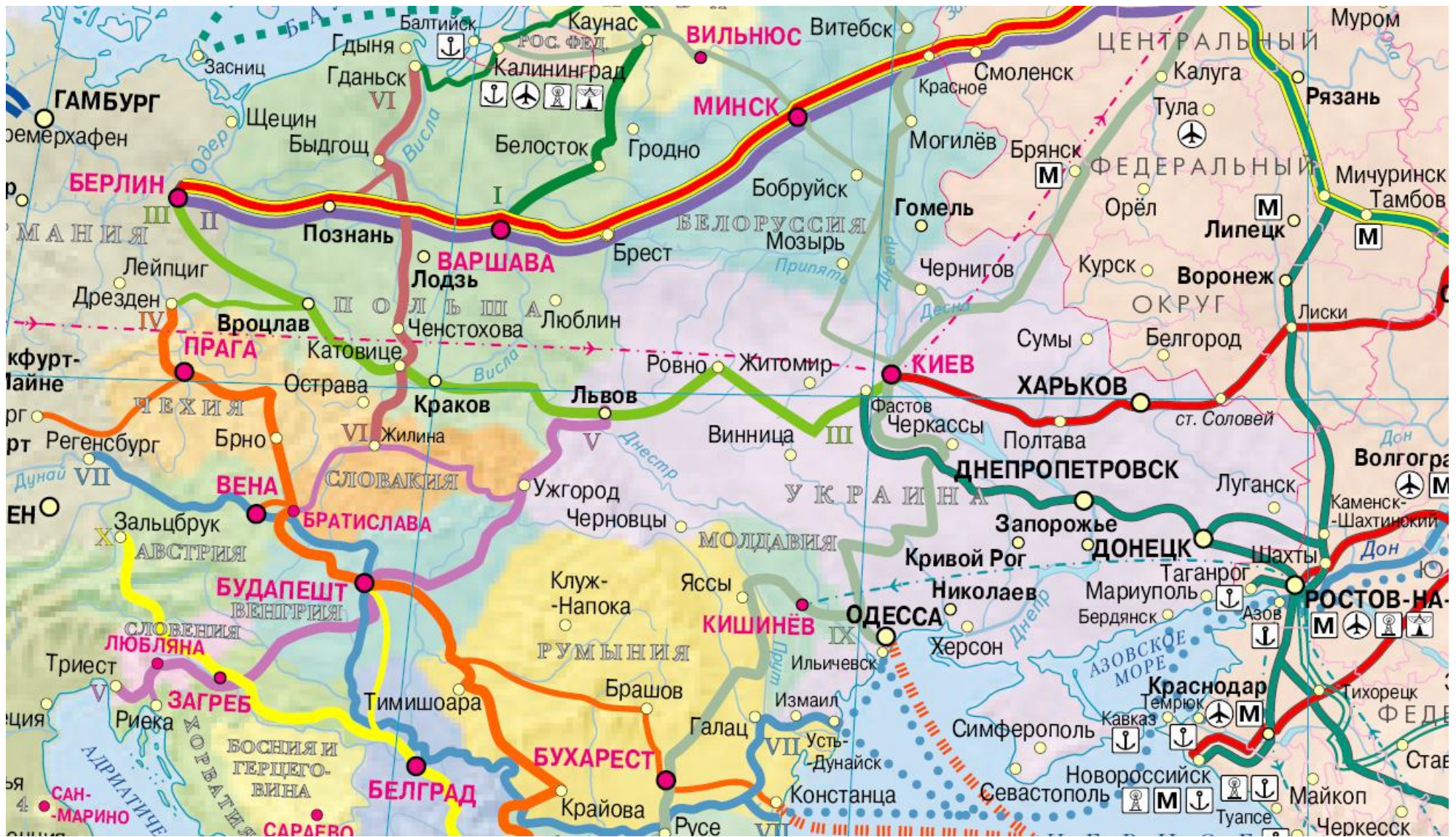


Рисунок 2.4 – Схема МТК, проходящих по территории Украины

Многолетние усилия Укрзалізничці по присвоению статусу МТК украинскому варианту МТК Европа-Азия по маршруту **Фастов – Знаменка – Нижнеднепровск-Узел – Дебальцево – Красная Могила – Лихая – Волгоград – Макат – Бейнеу – Навои/Чарджоу** способствовали утверждению этого транспортного коридора под №8 ОСЖД. Маршрут по данному коридору сокращает расстояние из Европы в Туркменистан и Китай на 700...1300 км по сравнению с северным маршрутом через Оренбург.

В 1997 г. по предложению правительств Польши и Украины транспортный коридор Гданьск – Варшава – Люблин – **Ягодин – Ковель – Здолбунов – Шепетовка – Казатин – Жмеринка – Одесса** получил статус общеевропейского. Именно это направление стыкуется с транспортным коридором TRASECA.

Развитие национальной сети международных транспортных коридоров, которые являются составляющими Критских международных транспортных коридоров и соответствие нормам и стандартам Европейского Союза, является шагом к интеграции Украины в европейскую транспортную систему и важной предпосылкой привлечения дополнительных объемов перевозок через территорию Украины.

2.4. Характеристика критского транспортного коридора №9

Панъевропейский МТК №9 является интермодальным транспортным коридором, проходящим от границы с Финляндией до Греции. МТК №9 образован в соответствии с решениями 2-й Общеввропейской конференции по транспорту на острове Крит в марте 1994 г. и является наиболее протяженным – более 3 тыс. км. Деятельность коридора осуществляется под эгидой Комиссии Европейского Союза (КЕС) и Европейской экономической комиссии (ЕЭК) ООН. В 1995 г. в Брюсселе был подписан меморандум о взаимопонимании по развитию МТК №9. Коридор (с ответвлениями) проходит по территории 10 стран: Финляндии, Латвии, Литвы, России, Белоруси, Украины, Молдовы, Румынии, Болгарии, Греции. Схема МТК №9 приведена на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Схема МТК №9

МТК №9 еще называют «Север-Юг», поскольку он обеспечивает связь между портами Балтийского, а также Черного и Средиземного морей.

Общая протяженность МТК №9 составляет около 3400 км, в т.ч. в пределах Украины:

- по железной дороге – 1496 км;
- по автомобильным дорогам – 996 км.

Железнодорожная часть МТК №9 по территории Украины проходит по Одесской и Юго-Западной железным дорогам по двупутным участкам, электрифицированным переменным током и оборудованным автоблокировкой. Основными узловыми железнодорожными станциями на данном маршруте являются: Одесса-Порт, Одесса-Застава, Раздельная, Котовск, Вапнярка, Жмеринка, Казатин, Фастов, Киев, Нежин, Бахмач, Конотоп, Хутор-Михайловский. Схема участка МТК №9, проходящего по территории Украины приведена на рис. 2.6.

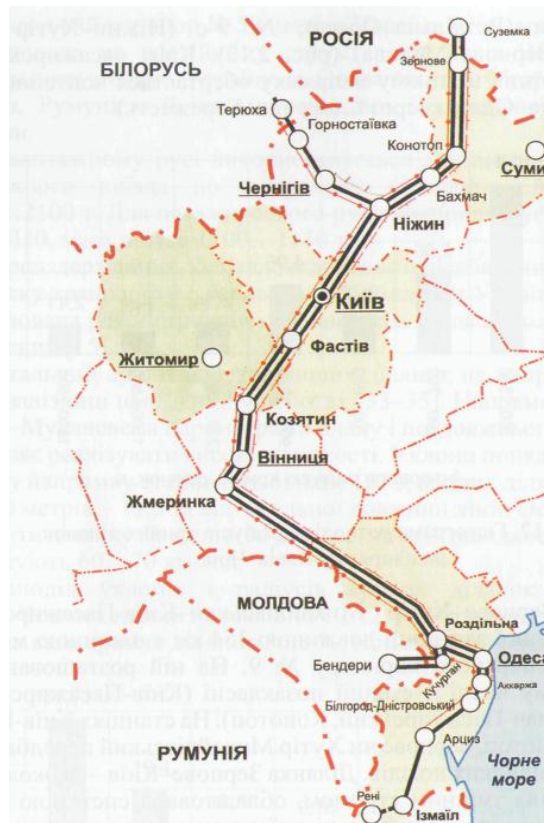


Рисунок 2.6 – Схема МТК №9 на территории Украины

До 2014 г. железнодорожная часть МТК №9 обеспечивала значительную часть транзитных перевозок, следующих по территории Украины со стороны России, Белоруси в порты Одесского региона. В настоящее время в связи с почти троекратным снижением объемов транзитных перевозок по этим участкам в основном перевозятся экспортно-импортные грузы, следующие в и из портов Одессы. На экспорт в порты следуют зерно, черные металлы, руда, минеральные удобрения; из портов везут импортные грузы – уголь, контейнеры, нефть и др. Грузонапряженность железнодорожных участков на данном направлении составляет до 30 млн. т на км в год.

Таким образом, железнодорожный маршрут Одесса – Киев – Хутор-Михайловский, что входит в МТК №9, является, с одной стороны, важной транспортной артерией, которая обеспечивает порты Черного моря с центральной частью Украины и ее столицей, с другой – связующим звеном, обеспечивающим международные, в т. ч. транзитные перевозки. В этой связи организация бесперебойного перевозочного процесса на данном железнодорожном маршруте, в т. ч. за счет эффективной системы оперативного планирования на технических станциях, является весьма актуальной и важной задачей.

2.5. Характеристика сортировочной станции Жмеринка

2.5.1. Общая характеристика станции

Станция Жмеринка является основной сортировочной станцией на направлении Вапнярка – Казатин, которое входит в состав железнодорожного маршрута МТК №9. Станция расположена на пересечении линий Раздельная – Тернополь и Могилев-Подольский – Фастов. По характеру и объемам работы является внеклассной сортировочной [101]. Принципиальная схема станции приведена на рис. 2.7, а более подробная схема – в Приложении А.

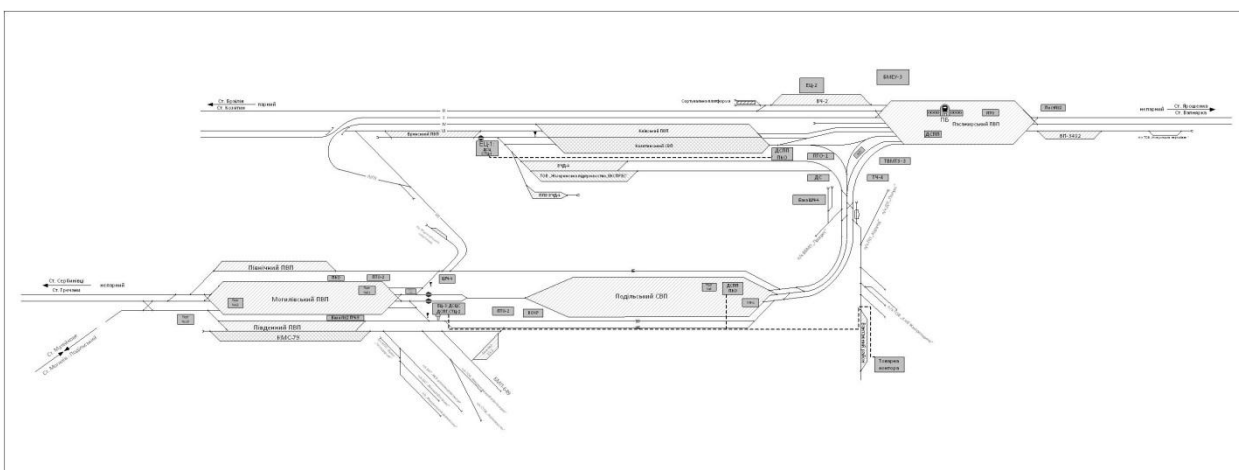


Рисунок 2.7 – Принципиальная схема станции Жмеринка

К станции примыкает 4 подхода (табл. 2.2) [102].

Таблица 2.2 – Характеристика подходов, примыкающих к станции

Направление	Перегон	Кол-во путей	Электрификация	Сигнализация
В нечетном направлении				
Вапнярка	Жмеринка – Ярошенка	2	+	Односторонняя автоблокировка, ДЦ
Гречани	Жмеринка – Сербиновцы	2	+	Односторонняя автоблокировка, ДЦ
Могилев-Подольский	Жмеринка – Матейково	1	–	Двухсторонняя автоблокировка, ДЦ
В четном направлении				
Казатин	Жмеринка – Браилов	3	+	№№1, 2: односторонняя АБ, ДЦ №3: двухсторонняя АБ, ДЦ

2.5.2. Путьное развитие станции

По характеру выполняемой поездной и маневровой работы станция разделена на 2 сортировочных системы – четную и нечетную [101, 102].

В нечетной сортировочной системе расположены:

– Пассажирский приемо-отправочный парк (Пас) включает 12 путей (в т.ч. 8 приемо-отправочных) и предназначен для приема, отправления пассажирских и пригородных поездов со всех направлений, отстоя пригородных составов, пропуска грузовых поездов четного и нечетного направлений;

– Киевский приемо-отправочный парк (К) включает 8 путей (в т.ч. 4 приемо-отправочных) и предназначен для приема и отправления грузовых поездов с и на направления Казатин и Вапнярка, пропуска пассажирский поездов;

– Брянский приемо-отправочный парк (Б) включает 3 (в т.ч. 1 приемо-отправочный) пути и предназначен для пропуска пассажирских и грузовых поездов в четном и нечетном направлении, приема и отправления грузовых поездов с и на направления Казатин и Вапнярка, расформирования составов;

– Волочискский приемо-отправочный парк (В) включает 11 путей (в т.ч. 4 приемо-отправочных) и предназначен для приема и отправления грузовых поездов с и на направления Казатин и Вапнярка, пропуска пассажирских поездов четного и нечетного направлений, выполнения маневровой работы, отстоя локомотивов и снегоуборочной техники;

– Ранжирный парк (Р) включает 4 пути и предназначен для отстоя пригородных электропоездов;

– Казатинский сортировочно-отправочный парк (КЗ) включает 21 путь (в т.ч. 12 сортировочно-отправочных) и предназначен для накопления внутристанционных передач между системами;

– пути сортировочной платформы (2 пути);

– главные, ходовые и предохранительные пути.

В четной сортировочной системе расположены:

– Северный приемо-отправочный парк (Сев) включает 2 главных пути и предназначен для пропуска пассажирских и грузовых поездов в четном и нечетном направлениях;

– Южный приемо-отправочный парк (Южн) включает 2 пути (в т.ч. 1 приемо-отправочный) и предназначен для приема, отправления грузовых поездов на Гречани и Могилев-Подольский, для пропуска пассажирских и

грузовых поездов в четном и нечетном направлениях;

– Могилевский приемо-отправочный парк (М) включает 14 путей (в т.ч. 9 приемо-отправочных) и предназначен для приема поездов со станций Матейково и Сербиновцы, отправления нечетных грузовых поездов на эти станции, пропуска грузовых поездов в обоих направлениях;

– Подольский сортировочно-отправочный парк (ПД) включает 23 пути (в т.ч. 21 сортировочно-отправочный) и предназначен для накопления составов назначением на Вапнярку и Казатин и их отправления на этих назначения;

– пути грузового района;

– главные, ходовые и предохранительные пути.

Выполнение поездной и маневровой работы, а также обмен внутристанционными передачами между четной и нечетной сортировочными системами станции выполняется через соединительную горловину станции или по главным путям IVГП и VII.

2.5.3. Сортировочные и маневровые устройства

В нечетной сортировочной системе расположена немеханизированная сортировочная горка малой мощности с одним путем надвига и одним путем роспуска. При выполнении маневровой работы по обработке транзитных поездов на путях сортировочно-отправочного парка КЗ в качестве вытяжных путей используются:

– со стороны северной горловины парка КЗ – путь 81 парка Б;

– со стороны южной горловины парка КЗ – путь 33 парка Р.

Маневровая работа по расформированию внутристанционные передач выполняется путем вытягивания их на сортировочную горку с путей парка К и парка КЗ на путь №81 парка Б с последующим расформированием методом осаживания на пути парка КЗ.

В четной сортировочной системе расположена механизированная сортировочная горка большой мощности с двумя путями надвига и одним путем роспуска. Маневровая работа по расформированию вагонов, групп вагонов и составов грузовых поездов выполняется путем их надвига на сортировочную

горку с путей парка М и методом роспуска на пути парка ПД.

Для обеспечения регулирования скорости движения отцепов при расформировании составов грузовых поездов и групп вагонов, четная сортировочная горка оборудована:

- двумя механизированными тормозными позициями для интервального торможения отцепов, расположенными в парной горловине сортировочно-отправного парка, оборудованные замедлителями типа КВ-3;

- одной механизированной тормозной позицией для прицельного торможения отцепов, оборудованной замедлителями КВ-3

Сортировочная горка оборудована комплексом автоматических устройств в состав которых входит горочная автоматическая централизация блочного типа (ГАЦ).

При выполнении маневровой работы по формированию грузовых поездов на путях сортировочно-отправного парка ПД в качестве вытяжных путей используются:

- со стороны четной горловины парка ПД – пути и свободные участки путей парка М;

- со стороны нечетной горловины парка ПД – участки путей в центральной соединительной горловине.

Для выполнения маневровой работы на станции привлечено 6 маневровых локомотивов серии ЧМЭ-3. При этом станция разделена на 15 маневровых районов.

2.5.4. Основные технические и грузовые сооружения станции

В нечетной сортировочной системе расположены:

- административное здание;
- пост электрической централизации №1 (ЭЦ-1) с помещениями маневрового диспетчера (ДСЦ), операторов СТЦ-1,
- пост ЭЦ-2;
- пост централизации парка КЗ (МВ-3);
- посты дежурных по паркам, сигналистов;

– пассажирский вокзал островного типа с 10 платформами.

В четной системе станции расположены:

- пост ЕЦ-3 с помещениями станционного диспетчера (ДСЦС), дежурного по горке (ДСПГ), операторов СТЦ-2;
- пост централизации парка ПД (МВ-1).
- посты дежурных по паркам, сигналистов.

Работу локомотивного хозяйства обеспечивает основное локомотивное депо ТЧ-4, которое расположено в нечетной системе станции. Локомотивное депо примыкает к путям парков В и Пас. Локомотивный комплекс включает: путевое развитие, депо веерного типа, поворотный круг, базу топлива, смотровые каналы, устройства экипировки локомотивов.

Работу вагонного хозяйства обеспечивает вагонное депо ВЧД-4, расположенное в нечетной и четной системах станции. Вагонное депо примыкает к паркам КЗ и ПД. Комплекс вагонного хозяйства включает: путевое развитие, вагонное депо, ПТО-1 (в нечетной системе), ПТО-2 (в четной системе), пункты текущего ремонта в четной и нечетной системах, компрессорные установки и воздухопроводы.

Погрузка и выгрузка вагонов осуществляется на грузовом районе станции, а также на путях необщего пользования и подъездных путях.

Грузовой район расположен в четной системе станции и примыкает к парку ПД. К станции примыкают 17 путей предприятий железной дороги (ЭЧ-3, ПМС-79, СМП-649, ПЧ-9, ВЧД-4, ШЧ-4, СМЭУ-3, ВЧ-2, ТЧ-4, пожарный и восстановительный поезд) и 13 подъездных путей предприятий

2.5.5. Эксплуатационная характеристика станции

Нечетная сортировочная система станции состоит из параллельно расположенных приемо-отправочного парка К и сортировочно-отправочного КЗ, а также приемо-отправочного парка БЯ расположенного последовательно к парку КЗ. Сортировочная система специализируется для приема транзитных поездов без переработки всех четырех направлений примыкающих к станции, их обработки и отправки на все четыре направления.

Техническое обслуживание и коммерческий осмотр составов транзитных поездов без переработки выполняется на приемо-отправочных путях парка К и путях №№ 61, 62, 63 сортировочно-отправного парка КЗ. Кроме технического обслуживания и коммерческого осмотра составов, на путях сортировочной системы выполняется смена поездных локомотивов, а также операции по увеличению/уменьшению веса и длины прибывающих составов, отцепка неисправных.

Пути сортировочно-отправного парка КЗ специализированы для расформирования, формирования и отправления внутростанционных передач между четной и нечетной сортировочными системами станции. Внутростанционные передачи, которые отправляются с нечетной системы в четную, формируются из вагонов:

- отцепленных от составов транзитных грузовых поездов из-за технических или коммерческих неисправностей;
- после окончания выполнения деповского ремонта;
- отцепленных от составов транзитных грузовых поездов при уменьшении их веса и длины;

Операции по расформированию, формированию внутростанционных передач, выполнению маневровой работы с составами транзитных поездов для отцепки вагонов выполняются путем осаживания через сортировочную горку на пути сортировочно-отправного парка КЗ.

На путях приемо-отправного парка Пас выполняются операции с составами транзитных пассажирских поездов по прицепке, отцепке вагонов, их технический осмотр, а также обработка пассажирских поездов своего формирования.

Четная сортировочная система станции состоит из двух последовательно расположенных парков: приемно-отправного М и сортировочно-отправного ПД. Сортировочная система специализирована для приема транзитных поездов с переработкой со всех четырех направлений примыкающих к станции, их обработки и расформирования, а также формирования, обработки и отправки поездов своего формирования на все четыре направле-

ния. Кроме составов транзитных поездов с переработкой, в зависимости от конкретных поездных обстоятельств, в четной сортировочной системе может выполняться работа по приему обработке и отправке составов транзитных поездов без переработки.

Техническое обслуживание и коммерческий осмотр составов транзитных поездов с переработкой и транзитных поездов своего формирования выполняется соответственно на путях парка М и парка ПД.

Пути сортировочно-отправного парка ПД специализированы для накопления вагонов, формирования, обработки и отправки составов поездов своего формирования, а также расформирования, формирования и отправления внутростанционных передач между четной и нечетной сортировочными системами станции.

Внутростанционные передачи, прибывающие из четной системы в нечетную, формируются из вагонов:

- отцепленных от составов транзитных грузовых поездов из-за технических неисправностей, требующих выполнения деповского ремонта;
- которые прицепляются к составам транзитных грузовых поездов при увеличении веса и длины.

Расформирование, формирование составов поездов и внутростанционных передач, выполнение маневровой работы по отцепке вагонов неисправных в техническом и коммерческом отношении выполняется путем роспуска вагонов через сортировочную горку на пути парка ПД.

За последние годы объемы работы станции Жмеринка существенно уменьшились и в 2019 г. в среднем за сутки составили:

- транзитный вагонопоток с переработкой - 2115 ваг / сут .;
- транзитный вагонопоток без переработки - 2200 ваг / сут.
- прибытие поездов в расформирование – 38 поездов / сут.
- отправление поездов своего формирования – 40 поездов/сут
- прибытие / отправление транзитных - 42 поездов.

3. АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕЗДООБРАЗОВАНИЕМ НА СТАНЦИИ И НАПРАВЛЕНИЙ ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

3.1. Задачи и проблемы оперативного управления поездообразованием

Основной задачей сортировочных станций является расформирование и формирование грузовых поездов. Оперативное планирование работы сортировочной станции осуществляется с целью организации выполнения задач по приему и отправлению поездов, расформированию и формированию составов, погрузке, выгрузке грузов, а также для выполнения графика движения и плана формирования поездов. Оперативное управление этими процессами предполагает определение, как очередности расформирования, так и очередности формирования и отправления составов. При этом критерием эффективности оперативного планирования и управления является снижение себестоимости перевозочного процесса, в первую очередь, за счет сокращения простоев вагонов и поездов в парках станции – в ожидании обслуживания, под накоплением в сортировочном парке, в ожидании формирования и отправления.

Очевидно, что оперативный план работы станции должен основываться на прогнозной информации о прибытии поездов и определенным образом учитывать ее возможную недостоверность [36]. Таким образом планирование поездообразования на сортировочной станции выполняется на основе данных о поездах прибывающих в расформирование. На данный момент АСУГП УЗ обеспечивает поступление информации в объеме телеграмм-натурных листов. Прогнозирование времени движения поездов выполняется на основе нормативных длительностей движения, которые на практике часто не соблюдаются. В этой связи для разработки эффективных алгоритмов выбора очередности выпуска составов (ОРС) необходимо иметь достоверный прогноз моментов прибытия поездов на станцию. Положительный эффект от решения задачи ОРС возможно достичь за счет:

- уменьшение эксплуатационных расходов сортировочной станции, на которой выполняется расформирование составов;

– уменьшение эксплуатационных расходов следующих технических станций полигона железных дорог за счет создания благоприятных условий их работы;

Улучшение показателей работы сортировочной станции, на которой выполняется расформирования составов, возможно за счет уменьшения продолжительности простоя вагонов и локомотивов на станции, уменьшения продолжительности простоя поездов по неприему на станцию. Кроме этого, необходимо учитывать объемы дополнительной маневровой работы, которая возникает в случаях переполнения сортировочных путей и направления вагонов не на специализированные сортировочные пути.

Создание благоприятных условий работы следующих технических станций полигона с помощью ОРС возможно за счет формирования поездов с меньшим количеством отцепов, что положительно влияет на показатели работы подсистем расформирования этих станций [103]. На рис. 3.1. приведен пример, демонстрирующий, каким образом меняется среднее количество отцепов в составе своего формирования при различных последовательностях роспуска. Перед началом роспуска в парке приема находится два состава.

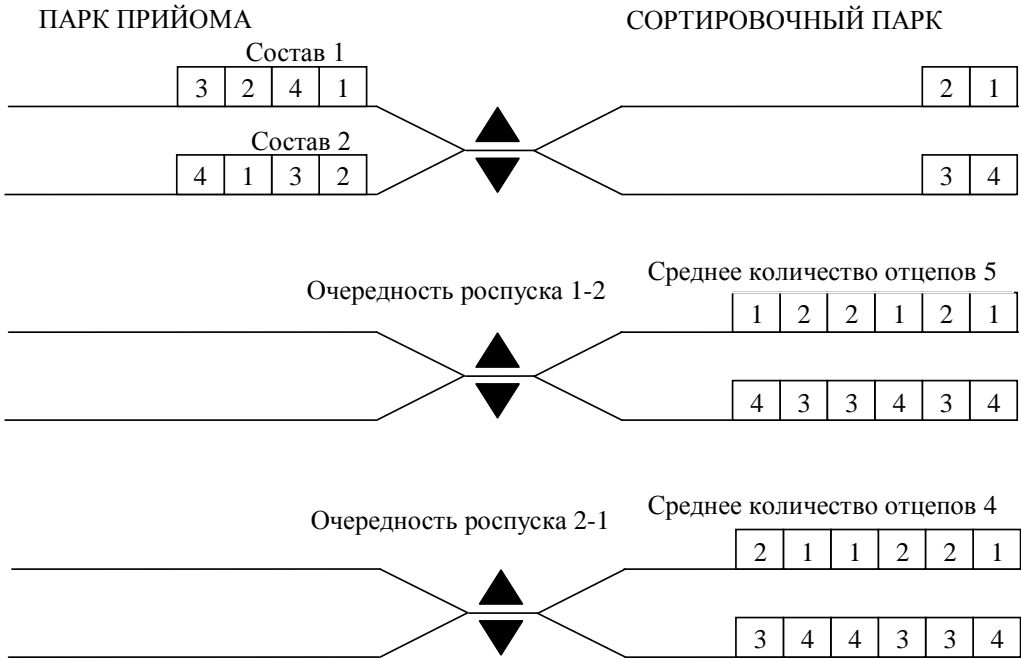


Рисунок 3.1 – Пример влияния очередности роспуска составов на количество отцепов в составах своего формирования

В случае расформирования составов в порядке их поступления, в сортировочном парке накапливается два состава, каждый из которых состоит из пяти отцепов. В случае расформирования составов в обратном порядке, в сортировочном парке накапливается два состава, каждый из которых состоит из четырех отцепов.

3.2. Анализ существующей системы оперативного планирования на станции

Основной формой планирования является сменный план работы, который составляется заместителями начальника станции по оперативной работе четной и нечетной сортировочных систем. Оперативное планирование работы станции осуществляется на сутки, смену и по 4-х часовым периодам в течение смены. Основанием для сменного и текущего планирования является информация о подходе поездов, вагонов, локомотивов и расчет их необходимого наличия до начала планируемого периода.

Суточный план-задание работы станции разрабатывается дирекцией железнодорожных перевозок и передается на станцию за 3 часа до начала суток и содержит следующие данные: 1) общее количество поездов, которые должны приниматься станцией по каждому направлению, с делением на транзитные и разборочные; 2) общее количество поездов, которые должны быть отправлены со станции на каждое направление; 3) план по отправке порожних вагонов с указанием направления и рода подвижного состава; 4) объемы погрузки, выгрузки грузов; 5) план по развозу местного груза по прилегающим к станции участкам.

В суточном плане указывается объем работы, которая должна быть выполнена на станции в первую половину суток. Суточный план уточняется и корректируется перед началом второй половины суток, в зависимости от конкретных обстоятельств ситуации, результатов работы в первую половину суток и передается в дирекцию железнодорожных перевозок.

Целью сменного планирования является разработка задач каждой сме-

ны, которые обеспечивают выполнение суточного плана работы с учетом ситуации, которая сложилась в поездной и грузовой работе на станции и на подходах к ней. На основании информации о подходе поездов и локомотивов в сменном плане устанавливаются для станции размеры отправления поездов по направлениям на всю смену. Сменный план отправления поездов и другие задачи передаются из дирекции железнодорожных перевозок начальнику станции не позднее чем за один час до начала смены в форме диспетчерского приказа.

План работы станции на смену составляется заместителем начальника станции по оперативной работе четной системы, а при его отсутствии – станционным диспетчером, исходя из фактического выполнения суточного плана работы станции по всем его показателям, положения на станции до начала планируемого периода, информации о подходе поездов и вагонов, технологических норм на обработку поездов, вагонов и грузовых фронтов.

План работы смены, которая заступает на дежурство во второй половине суток, составляется с учетом итогов работы первой смены и обеспечения выполнения суточного плана работы станции, получаемый из дирекции железнодорожных перевозок. Сменный план объявляется работникам, которые заступают на дежурство. Сменный план составляется для четной и нечетной сортировочных систем, с планированием задачи по передаче углового вагонопотоков с одной сортировочной системы в другую.

Для обеспечения своевременной переработки вагонов и отправления их со станции в увязке с графиком движения и планом формирования поездов, с учетом подхода поездов, наличия вагонов и локомотивов станционным диспетчером с участием дежурного по дирекции железнодорожных перевозок, локомотивного диспетчера и дежурного по локомотивному депо ведется текущее планирование работы станции по 4-х часовых периодах. Суточный план и план по 4-х часовых периодах станционный диспетчер доводит до маневрового диспетчера, дежурных по станции постов ЭЦ-2,3, дежурных по паркам, старшего оператора СТЦ, старших осмотриков ПТО четной и не-

четной систем и работников ПКО, и дает задание на ближайшие 1...2 часа.

В процессе дежурства план по 4-х часовым периодам корректируется в соответствии с оперативных обстоятельств и хода его выполнения че \neg рез каждые 2:00 работы.

В процессе текущего планирования причастные работники:

- составляют план приема поездов при соблюдении оптимального подвода на станцию разборочных и транзитных поездов по каждому направлению, исходя из обеспечения надлежащих условий взаимодействия в работе гонки, парков прибытия и сортировочной горки;

- рассчитывают план составообразования, которым устанавливается время окончания накопления вагонов на полный состав, окончание его формирования и время готовности каждого состава к отправлению;

- составляют план отправления поездов с подвязкой локомотивов и локомотивных бригад к составам своего формирования и транзитных, а поездов – к ниткам графика движения;

- для внутренних станционных передач устанавливаются сроки подачи вагонов на пункты погрузки и выгрузки, а также уборки вагонов.

Исходными данными для составления плана составообразования и отправления поездов являются:

- телеграммы-натурные листы (ТНЛ) на все поезда, прибывающие в полную или частичную переработку

- план подвода поездов, передается примерно за 1,5 часа до планируемого периода, из дирекции железнодорожных перевозок;

- данные о наличии на путях станции поездов и вагонов по назначениям плана формирования до начала периода планирования;

- данные о наличии и ожидаемом поступлении локомотивов и локомотивных бригад для обеспечения вывоза поездов;

- данные о количестве, назначении и предполагаемом времени уборки вагонов на пути станции после окончания грузовых операций;

- технологические нормы времени на выполнение операций с поездами

и вагонами.

Расчет составаобразования, а именно определение времени готовности составов к отправлению, выполняется на основании установленных технологическим процессом норм времени нахождения составов в парках прибытия и отправления, времени на расформирование и формирование составов [101]. На основе данных о готовности составов к отправлению станционный диспетчер вместе с узловым диспетчером и локомотивным диспетчером составляют план отправления поездов.

Станция получает предварительную и точную информацию о подходе поездов и вагонов. Предварительная информация передается на станцию из дирекции железнодорожных перевозок вместе с заданием на смену и содержит данные о количестве поездов, которые должны прибыть на станцию в следующие 12:00 по каждому направлению с выделением поездов, поступающих в переработку, а также количество вагонов, следующих под выгрузку на станцию. При действии автоматизированной системы оперативного управления перевозками (АСУГП УЗ) точная информация о составе и подходе поездов всех категорий, прибывающих в полную или частичную переработку, поступает в виде ТНЛ в станционный технологический центр (СТЦ) из информационного вычислительного центра (ИВЦ).

После фактического прибытия грузовых поездов, ТНЛ, поступивших в СТЦ станции при необходимости корректируются в соответствии с результатами натурного списывания номеров вагонов и размечаются в соответствии с планом формирования поездов, после чего по каждому составу готовятся итоговые данные с указанием количества вагонов, их массы по группам вагонов по назначениям плана формирования.

3.3. Система диспетчерского руководства составообразованием

В основу технологии работы станции положен метод диспетчерского руководства расформированием-формированием поездов и местной работой.

Станционный диспетчер, руководствуясь сменным планом составооб-

разования и отправления поездов, учитывая данные непрерывного номерного учета наличия и расположения вагонов на путях сортировочных парков, наличия составов транзитных с переработкой грузовых поездов, подлежащих расформированию, и транзитных без переработки грузовых поездов на путях приемоотправочных парков, погрузочно-разгрузочных фронтах подъездных путей предприятий, учитывая данные информации о подходе и разложении поездов по назначениям плана формирования, вместе с маневровым диспетчером планирует работу станции по 4-х часовых периодах. В соответствии с этим планом согласовывает с узловым и поездным диспетчерами подход поездов и устанавливает очередность расформирования прибывающих составов, непрерывно контролирует выполнение плана и принимает оперативные меры по обеспечению своевременного формирования, обработки и отправления поездов, а также выполнения местной грузовой работы.

С целью наиболее рационального использования путевого развития сортировочно-отправочных парков, особенно в случаях неравномерного поступления на станцию вагонопотоков, а также в других случаях нарушений нормальной работы, станционный диспетчер обязан:

- применить гибкую специализацию путей сортировочно-отправочных парков;
- определять рациональную очередность расформирования, формирования составов поездов;
- применять методы обработки частично сформированных поездов, групп вагонов на путях сортировочно-отправочных парков;
- определять рациональность перестановки сформированных составов с путей сортировочно-отправочных парков на пути приемо-отправочных парков.

Как отмечалось, основой оперативного планирования, в первую очередь, на 3...4-х часовые периоды является информация о прибытии поездов, наличии поездов и вагонов на путях станции, а также о завершении технологических операций с составами и готовности их началу других технологиче-

ских операций (расформированию, окончанию формирования, отправлению и т.д.). Очевидно, что точность такой информации в значительной степени определяет точность, а значит, и качество оперативного плана и его реализации. Вместе с тем, как показывает анализ, данные о моментах прибытия поездов и окончания технологических операций часто являются неточными, т.к. не выдерживаются времена хода по участкам между техническими станциями, нормативные продолжительности выполнения технологических операций.

Кроме того, решение об очередности выполнения операций с поездами (например, очередность технического осмотра, очередность расформирования и т.д.) часто принимается диспетчерским персоналом интуитивно, на основании собственного опыта. При этом часто такое решение не учитывает всех влияющих факторов и возможных результатов от его реализации, и, соответственно, не является оптимальным. Реализация такого неоптимального решения может привести к дополнительным расходам, например, связанным с непроизводительным простоем поездов и вагонов, и к увеличению себестоимости перевозочного процесса.

Анализ передового опыта зарубежных железных дорог показывает, что одним из наиболее эффективных направлений совершенствования оперативного планирования и управления поездной работой на железнодорожных станциях является внедрение и использование современных систем поддержки принятия решений (СППР). В основе такой СППР должна лежать мощная имитационная модель станции и подходов к ней, среди задач которой – прогнозирование моментов начала и окончания основных технологических операций, а также готовности к ним составов, вагонов, локомотивов. Кроме того, такая модель может позволять «проигрывать» различные оперативные ситуации для оценки эффективности того или иного решения диспетчерского персонала по оперативному управлению составообразованием.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЕЗДОПОТОКОВ НА ПОДХОДАХ К СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

4.1 Анализ неравномерности в работе технических станций Украины

Основой решения задачи разработки оперативных планов поездообразования на сортировочной станции является прогноз прибытия поездов. Следует отметить, что в АСУГП УЗ-Е можно получить прогноз прибытия поездов, но он не является достаточно точным, поскольку время прибытия поездов рассчитывается на основе нормативной продолжительности движения поездов, которая заложена в графике движения. Кроме того, определенные факторы вообще не учитываются, прежде всего, неравномерность движения грузовых поездов, которая имеет существенное воздействие на продолжительность движения грузовых поездов.

Известно, что на железнодорожном транспорте существуют сезонная, месячная, недельная та внутрисуточная неравномерности [104]. Наличие неравномерности грузовых перевозок существенным образом влияет на точность прогнозирования моментов прибытия поездов на станцию и моментов готовности их к отправлению и, соответственно, должны учитываться при разработке процедуры прогнозирования входных и выходных потоков поездов. В этой связи для решения задачи прогнозирования поездной работы технических станций необходимо установить взаимозависимости между днем недели (периодом суток) и объемом поездной работы технической станции. С этой целью была выполнена статистическая обработка данных о движении грузовых поездов на участке МТК №9 Казатин – Жмеринка – Вапнярка за октябрь 2019 г.

В процессе исследования было определено общее количество транзитных поездов, поездов в расформирование и своего формирования за каждый день наблюдения и выполнена группировка их по дням недели. На рис. 4.1 приведены графики, которые характеризуют зависимость среднесуточного количества поездов разных категорий по дням недели на станции Жмеринка.

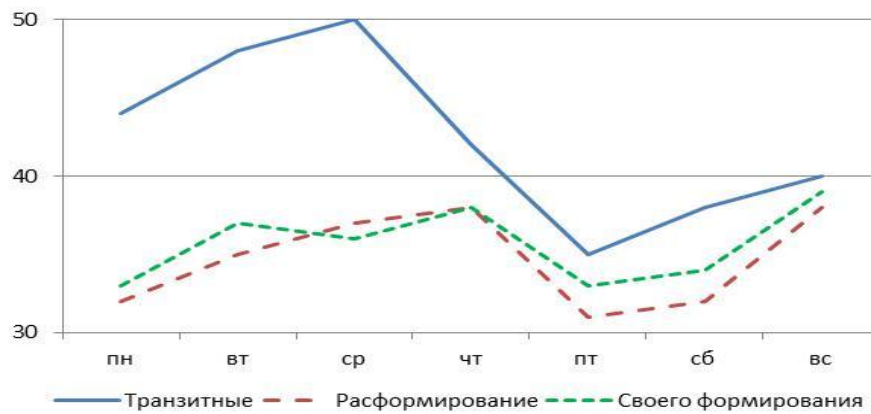


Рисунок 4.1 – Зависимость между среднесуточным количеством поездов на станции Жмеринка и днем недели

Как видно из приведенных графиков, в пятницу-субботу наблюдается определенное уменьшение количества поездов; пик объемов формирования поездов приходится на среду-четверг. По выходным дням, а особенно в воскресенье, количество поездов увеличивается, что можно объяснить необходимостью доставить груз на предприятия на начало рабочей недели.

Коэффициент неравномерности рассчитывается по формуле:

$$K_{нер} = \frac{X_{max}}{X_{cp}} \quad (4.1)$$

где X_{max} , X_{cp} – соответственно максимальное и среднее значения показателя за период.

Коэффициент неравномерности прибытия и отправление поездов в течение недели $K_{нер}$ для станции Жмеринка составляет 1,10...1,18 в зависимости от категории поездов.

Для определения внутрисуточных колебаний количества поездов разных категорий, которые прибывают и отправляются со станции, каждые сутки наблюдения были разбиты на 8 периодов по 3 часа; при этом было определено количество поездов в течение соответствующего периода. Полученные данные были сгруппированы по периодам суток, на основе чего определено среднее количество поездов, которые обрабатываются на станции по каждому из выделенных периодов суток (рис. 4.2). Как свидетельствуют графики, приведенные

на рис. 4.2, в период от 6-00 до 9-00 и от 15-00 до 18-00 наблюдается определенное уменьшение объемов поездной работы, а в течение следующих периодов отмечается пик работы.

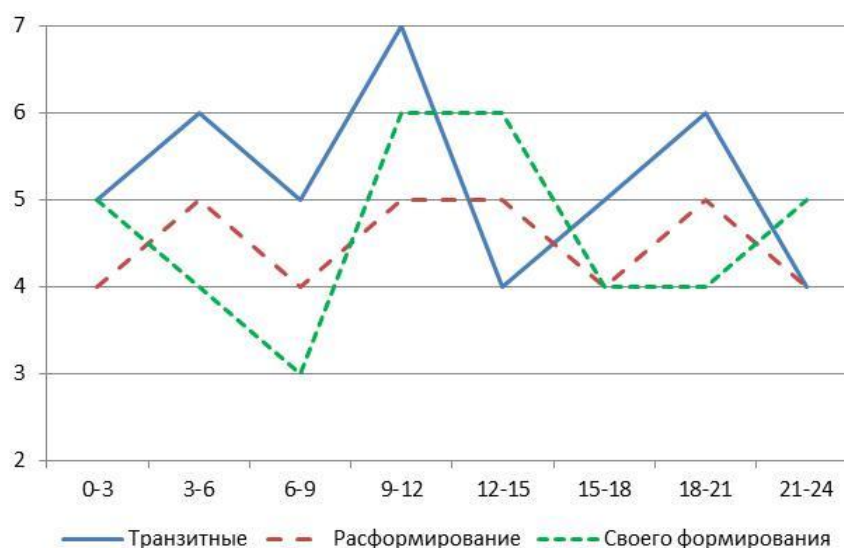


Рисунок 4.2 – Зависимость количества поездов на станции Жмеринка от периода суток

Коэффициенты неравномерности объемов поездной работы в течение суток в зависимости от категории поездов составляют 1,15...1,37, то есть выше, чем для недельного периода.

Кроме того, анализ интенсивности отправления грузовых поездов с технических станций железнодорожного направления также выявил существенные колебания количества поездов, которые отправляются в течение разных периодов суток. Так, на рис. 4.3 приведены графики изменения среднего количества отправленных поездов в течение суток на участках железнодорожного направления в течение разных месяцев. Анализируя приведенные на рис. 4.3 графики, можно выделить пик отправления поездов, которое приходится на период 15-00...18-00, при этом коэффициент неравномерности отправления поездов с технических станций направления находится в пределах $K_{\text{нер}}=1,23...1,92$ в зависимости от месяца года.

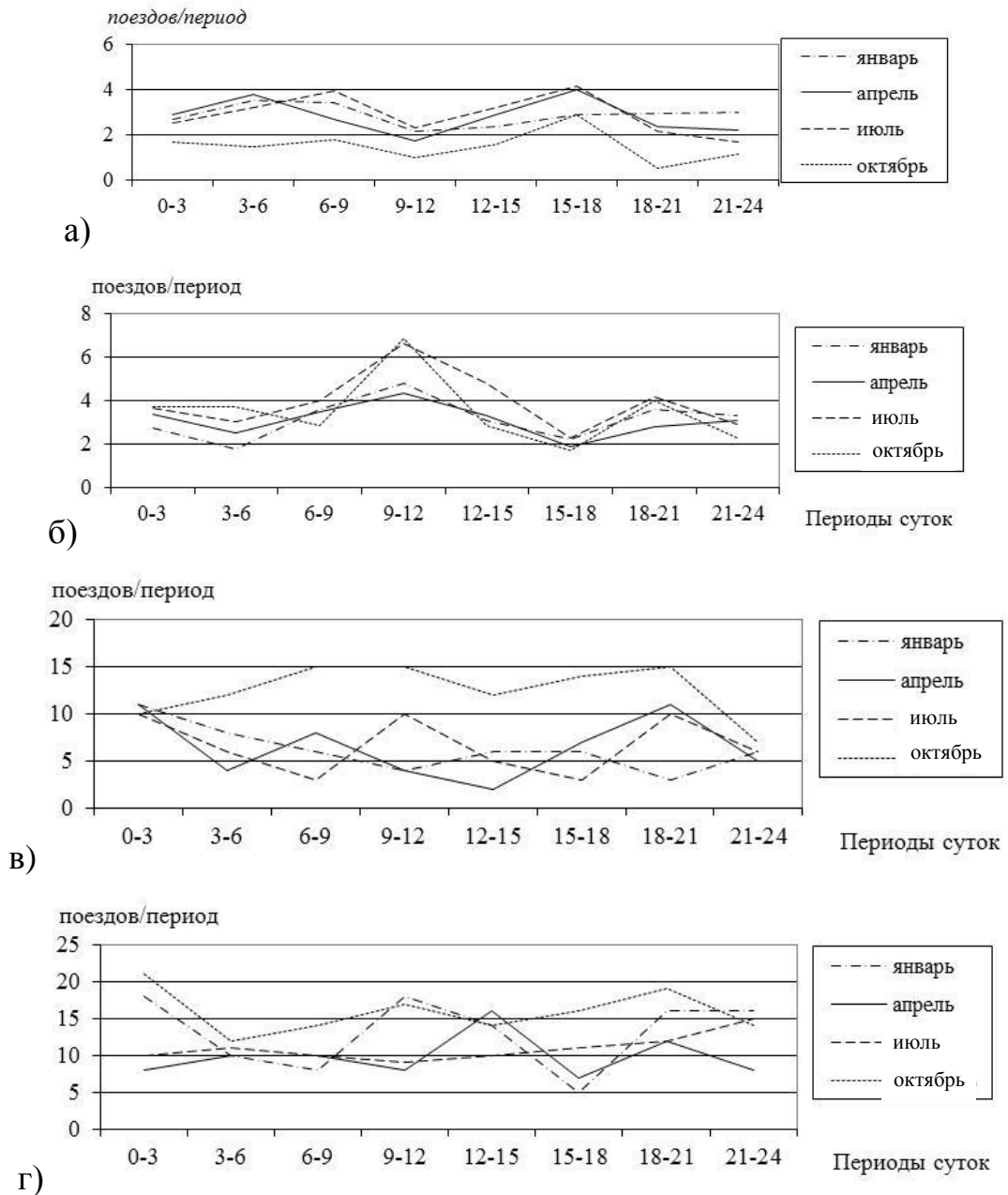


Рисунок 4.3 – Графики интенсивности отправления грузовых поездов в зависимости от периода времени их отправление на участках: а) *Казатин – Жмеринка*; б) *Жмеринка – Казатин*; в) *Вапнярка – Жмеринка*; г) *Жмеринка – Вапнярка*

Анализ интенсивности отправления грузовых поездов в течение недели показал определенную связь между количеством отправленных поездов и днем недели. Для примера, на рис. 4.4 приведены графики интенсивности отправления поездов на участке Казатин – Жмеринка – Вапнярка в течение разных месяцев в зависимости от дня недели.

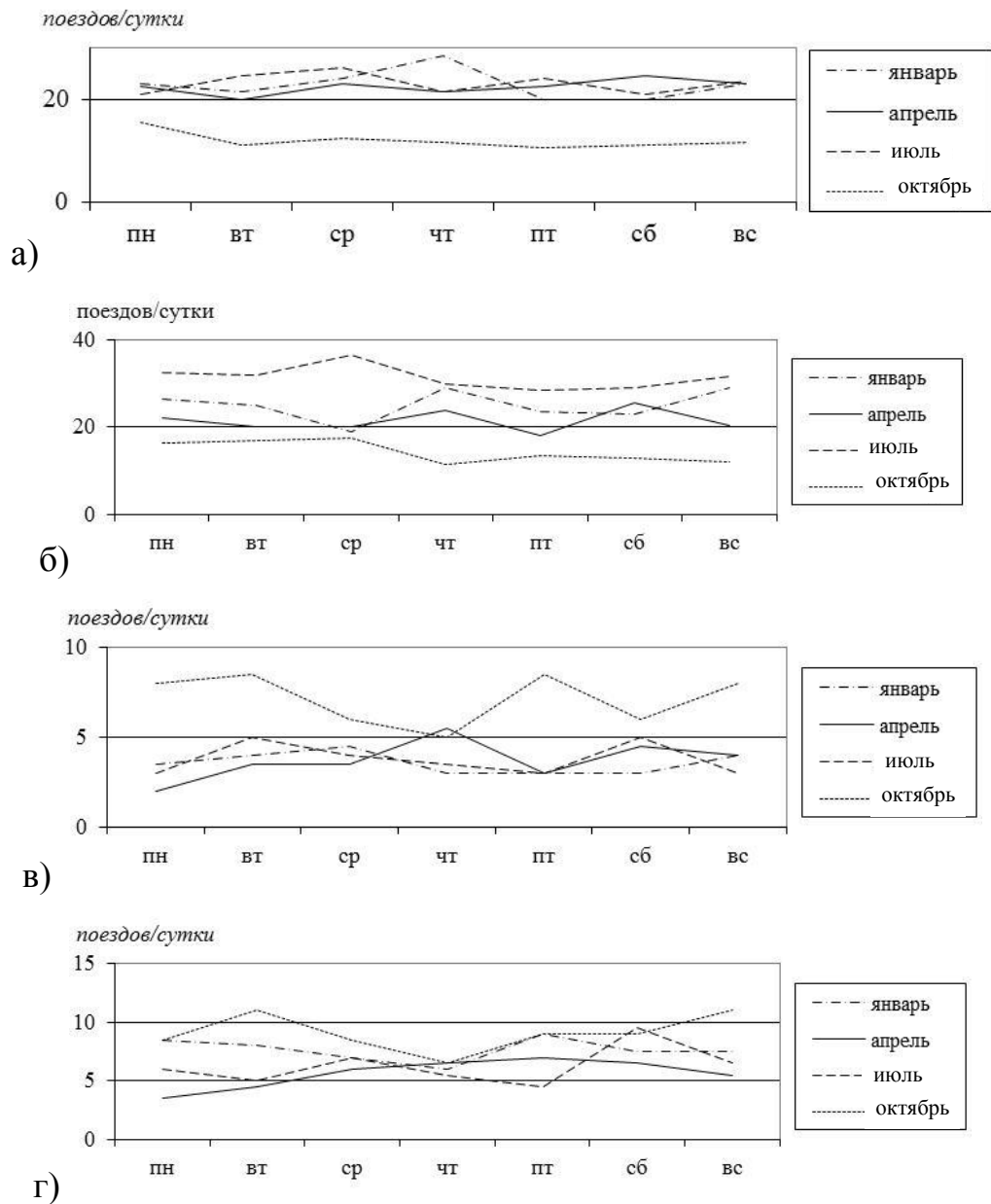


Рисунок 4.4 – Графики интенсивности отправления грузовых поездов в зависимости от дня недели их отправление на участках: а) Казатин – Жмеринка; б) Жмеринка – Казатин; в) Вапнярка – Жмеринка; г) Жмеринка – Вапнярка

Согласно полученным графикам, можно отметить, что интенсивность отправления поездов в конце недели несколько более низкая, сравнительно с началом недели, при этом коэффициент неравномерности отправления поездов с технических станций направления находится в пределах $K_{\text{нер}}=1,12\dots 1,25$ в зависимости от месяца года.

Кроме того, была проанализирована взаимосвязь между днем недели (периодом суток) и продолжительностью нахождения составов в приемо-отправочных парках станции Жмеринка (рис. 4.5).

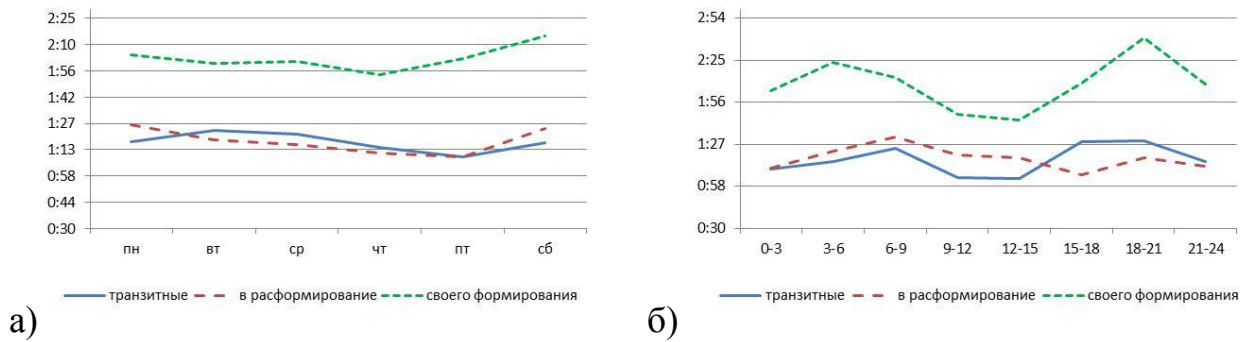


Рисунок 4.5 – Зависимость средней продолжительности простоя составов в приемо-отправочных парках станции Жмеринка от: а) дня недели; б) периода суток

Как видим, если день недели не существенно влияет на продолжительность простоя, то в течение суток продолжительность простоя составов колеблется в пределах 30...50% и определенным образом коррелируется с объемами работы (см. рис. 4.2).

Следует отметить, что диапазон колебания отдельных значений продолжительности пребывания грузовых поездов в парках станции Жмеринка довольно значительный. Так, минимальная продолжительность пребывания поезда своего формирования в парке отправления составляет 0,75 ч, а самое большое значение этой величины достигает 8 ч., то есть в 11 раз больше. Эти простои, в основном, связаны с ожиданием явки локомотивной бригады или подачи поездного локомотива под состав.

4.2 Исследование продолжительности движения грузовых поездов между техническими станциями

При расчете оперативного плана работы станции необходимо иметь достоверный прогноз прибытия поездов. Вместе с тем получение качественного прогноза поездной работы представляет собой довольно сложную задачу, поскольку процесс движения поездов на железнодорожных направлениях подвергается воздействию многих факторов и имеет стохастический характер [105]. Кроме того, движение грузовых поездов характеризуется значительной неравномерностью: сезонной, недельной и внутрисуточной [106, 107], поэтому влияние неравномерности также необходимо учитывать при прогнози-

ровании продолжительности движения грузовых поездов на железнодорожном направлении. С этой целью были выполнены исследования интенсивности отправления и продолжительности движения грузовых поездов между техническими станциями, для чего из АСУГП УЗ-Е был получен массив данных о продолжительности движения грузовых поездов на железнодорожном направлении Вапнярка – Жмеринка – Казатин-1 за 10 суток января, апреля, июля и октября 2019 г. При этом по каждому поезду, кроме собственно продолжительности движения между станциями, фиксировались: момент (время отправления в течение суток, день недели, месяц) его отправления с технической станции, масса поезда и тип локомотива. На основе результатов статистической обработки данных АСУГП УЗ-Е о движении поездов на направлении были определены параметры соответствующих случайных величин. Результаты расчетов сведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Параметры распределения случайной величины продолжительности движения грузовых поездов на участках железнодорожного направления

Участок	Месяц	Математическое ожидание $M[t]$, ч	Среднее квадратичное отклонение σ , ч	Минимальное значение случайной величины, ч	Максимальное значение случайной величины, ч
Жмеринка – Казатин-1	январь	3,44	0,68	2,38	5,92
	апрель	3,58	0,67	2,29	5,78
	июль	3,62	0,59	2,16	5,82
	октябрь	3,46	0,57	2,52	5,35
Казатин-1 – Жмеринка	январь	3,28	0,68	1,8	5,64
	апрель	3,45	0,87	2,15	6,08
	июль	3,52	0,75	2,10	5,92
	октябрь	3,26	0,72	2,22	6,28
Жмеринка – Вапнярка	январь	1,67	0,39	1,45	3,15
	апрель	1,75	0,47	1,52	2,95
	июль	1,83	0,54	1,44	3,08
	октябрь	1,64	0,46	1,42	2,75
Вапнярка – Жмеринка	январь	1,88	0,36	1,58	2,68
	апрель	1,98	0,41	1,62	3,18
	июль	2,01	0,64	1,57	2,96
	октябрь	1,88	0,50	1,55	3,14

Было выдвинуто предположение, что продолжительность движения поезда между техническими станциями зависит как от момента его отправления с соседней технической станции (время и дата), так и от параметров грузового поезда, среди которых были выделены масса поезда. Количественную

оценку степени связи между определенным фактором и его продолжительностью хода на участке было выполнено с помощью корреляционного анализа [108]. В приложении Б приведены результаты обработки статистических данных о движении поездов на участках железнодорожного направления относительно периода времени отправления. Эти данные иллюстрируют графики, которые приведены на рис 4.6.

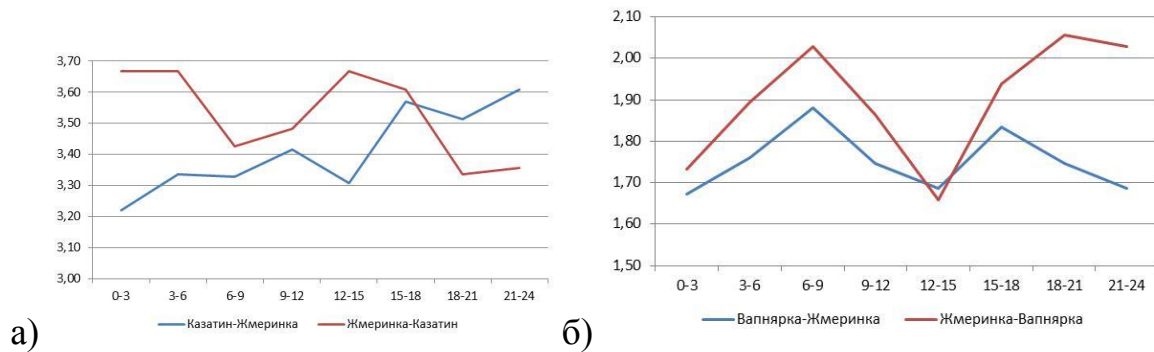


Рисунок 4.6 – Графики продолжительности движения грузовых поездов в зависимости от периода суток их отправление на участках: а) *Казатин-Жмеринка*; б) *Вапнярка – Жмеринка*

Так, было установлено, что коэффициент корреляции между периодом времени, когда поезд отправляется из технической станции, и продолжительностью его движения на участке составляет $R=0,32$ по шкале Чеддока, что свидетельствует о умеренной связи между указанными параметрами [108]. Следует отметить, что для каждого участка железнодорожного направления существуют характерные лишь для него зависимости величины продолжительности движения поездов от периода суток отправления с соседней технической станции. Наличие умеренной связи между этими параметрами делает необходимым учет периода отправления поездов в течение суток при прогнозировании продолжительности их движения на участках.

Кроме того, анализ данных АСУГП-УЗ-Е дает основание сделать предположение о наличии существенного влияния месяца отправления на величину продолжительности движения поезда, что можно объяснить ростом количества и продолжительности «окон» для проведения плановых ремонтных работ, а также изменением количества пассажирских поездов. Так, если среднее значение продолжительности движения в течение суток в апреле на участке Казатин –

Жмеринка составляет 3,88 час, то в январе – 3,38 ч, то есть на 0,5 ч (15 %) меньше. При этом коэффициент корреляции между месяцем года отправления грузового поезда и продолжительностью его хода на участке составляет $R=0,62$, что свидетельствует о существенной связи между этими параметрами [108].

Также были выполнены исследования относительно выявления взаимосвязи между днем недели отправления поезда из соседней технической станции и продолжительностью его движения. Соответствующие данные приведены в Приложении Б, а графики которые иллюстрируют эти зависимости – на рис. 4.7.

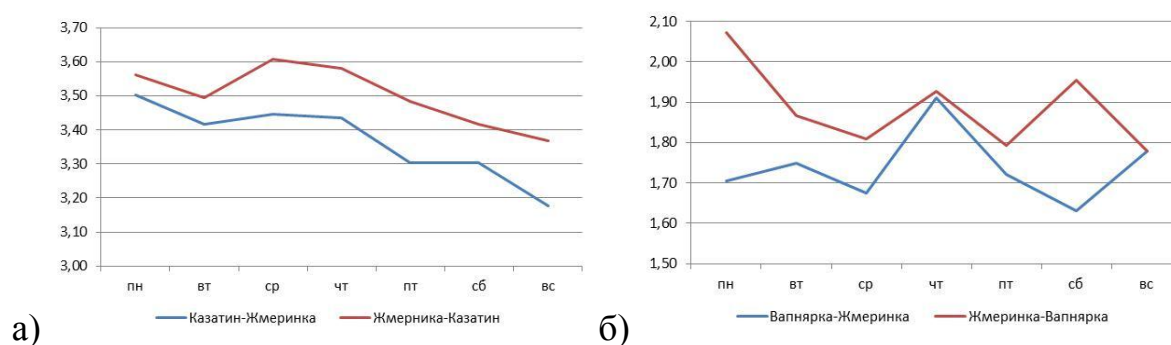


Рисунок 4.7 – Графики продолжительности движения грузовых поездов в зависимости от дня недели их отправление на участках: а) *Казатин – Жмеринка*; б) *Вапнярка – Жмеринка*

Анализ приведенных графиков позволяет сделать предположение, что существует довольно значительное различие величины продолжительности движения поездов, отправленных в начале и в конце недели, при этом поезд, отправленный в воскресенье, придет на техническую станцию в среднем на 20% быстрее, чем поезд, отправленный в понедельник. С помощью корреляционного анализа было установлено, что между днем недели отправления грузового поезда и продолжительностью его движения между техническими станциями участка существует умеренная связь (коэффициент корреляции $R=0,38$).

Как известно, характер движения поезда по участку, а значит и его продолжительность, существенным чином определяется массой состава. В этой связи было выполнено исследование воздействия этого параметра на величину продолжительности движения поездов на участках. Для исследования влияния массы поезда на продолжительность его движения между техническими станциями направления весь диапазон зафиксированных значений

массы поездов был разделен на интервалы с шагом $\Delta q=500$ т при максимальном значении массы поезда – 6 500 т. Для каждого такого интервала были определены параметры законов распределения случайной величины продолжительности движения поездов, которые приведены в приложении Б. Соответствующие графики зависимости приведено на рис. 4.8.

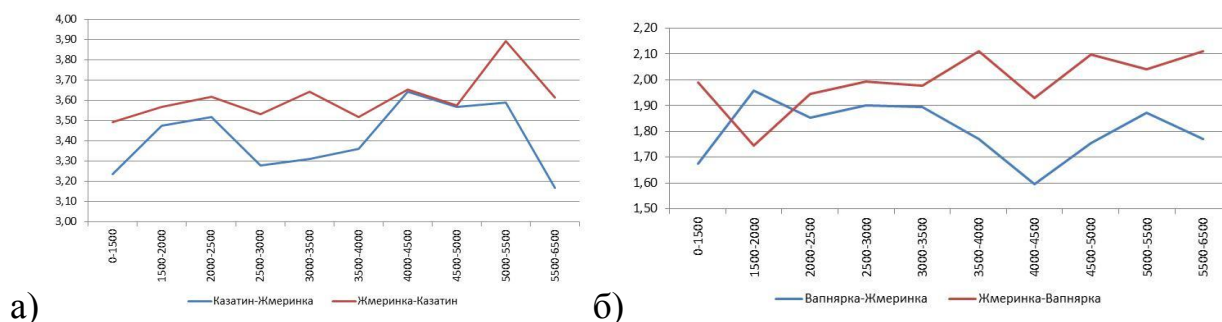


Рисунок 4.8 – Графики продолжительности движения грузовых поездов в зависимости от массы поезда на участках: а) *Казатин – Жмеринка*; б) *Вапнярка – Жмеринка*

Установлено, что коэффициент корреляции между массой поезда и продолжительностью его движения составляет $R=0,22$, что за шкалой Чеддока отвечает слабой степени связи между указанными параметрами. Следует отметить, что полученные результаты относительно степени воздействия массы состава на продолжительность движения поездов на участке также подтверждаются другими исследованиями, например [13].

Таким образом, как показывают результаты исследований, продолжительность движения поездов между техническими станциями не только определяется установленными нормами времени движения по перегонам, но и зависит от множества других факторов, среди которых неравномерность в работе железных дорог и параметры поездов [109]. Поскольку среди рассмотренных факторов не было выявлено такого, который бы имел существенно более сильное влияние на время движения поездов, сравнительно с другими факторами, то для получения более точного прогноза моментов прибытия поездов на станцию Жмеринка необходимо учитывать все рассмотренные факторы при прогнозировании продолжительности движения поездов на железнодорожном направлении.

5. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТАНЦИИ

5.1. Общая структура модели оперативного планирования

Эффективное оперативное планирование работы станции по расформированию и формированию поездов может быть реализовано на базе современной автоматизированной системы управления, основой которой является адаптивная модель оперативного управления работой станции. Задачей такой модели является разработка оперативных планов работы основе прогнозных моментов прибытия поездов, окончания выполнения технологических операций, моментов готовности поездов и локомотивов к отправлению. Структура такой модели приведена на рис. 5.1 [110].



Рисунок 5.1 – Структура адаптивной модели оперативного управления работой сортировочной станции

Основой любой системы управления работой станции или железнодорожного направления в целом должен быть качественный (достоверный) прогноз подхода поездов, который рассчитывается исходя из времени от-

правления с соседней станции и продолжительности движения между станциями. Поэтому ключевое место в структуре модели (рис. 5.1) занимает прогнозная модель поездной работы, которая состоит из модуля прогноза прибытия поездов и имитационной модели технической станции, включая модель локомотивного депо.

Модуль прогноза прибытия поездов предназначен для расчета моментов прибытия поездов на технические станции направления на основе величины продолжительности движения поездов в течение предыдущих периодов. Имитационная модель работы технических станций предназначена для определения моментов готовности грузовых составов различных категорий к отправке (моментов готовности состава к прицепке локомотива и / или смены бригады). Модель работы локомотивного депо предназначена для расчета моментов готовности локомотивов и бригад с учетом выполнения всех технологических операций, а также соблюдением норм продолжительности труда и отдыха локомотивных бригад [110].

Основой прогноза прибытия поездов является определение прогнозной продолжительности движения поездов между станциями. Существует несколько основных методик прогнозирования этой величины: на основе статистического анализа движения поездов за предыдущие периоды, согласно нормативным графиком движения поездов, исходя из величины средней скорости движения и т.д. [13, 109, 111]. Очевидно, что система, которая бы учитывала все возможные факторы, влияющие на продолжительность движения поездов, может быть достаточно сложной, поэтому актуальной задачей в настоящее время является определение факторов, которые оказывают наибольшее влияние на величину продолжительности движения.

5.2. Модуль прогноза прибытия поездов на станцию

5.2.1 Структура модуля

Основной задачей модуля прогноза прибытия поездов является расчет прогнозных моментов прибытия поездов на станция с учетом наиболее значимых факторов, влияющих на продолжительность движения грузовых поездов

на участках. Исходные данные для модуля прогноза прибытия поездов получают из АСУГП-УЗ-Е (блока формирования входной информации) в реальном режиме времени и могут быть описаны следующей структурой:

$$N_i = \{I_i, K_i^B, K_i^N, T_i, Q_i, V_i, Z_i\}, i=1, \dots, N_d, \quad (5.1)$$

где I_i – индекс i -го поезда; K_i^B, K_i^N – код станции отправления и назначения; T_i – вектор даты отправления i -го поезда с соседней технической станции; Q_i – масса брутто i -го поезда; V_i – вектор данных о вагонах i -го поезда; Z_i – тип локомотива; N_d – количество поездов на участке.

Вектор даты отправления i -го поезда с соседней технической станции включает сведения о времени отправления на протяжении суток t_i , день недели d_i и месяц года y_i и имеет такую структуру:

$$T_i = \{t_i, d_i, y_i\}, i=1, \dots, N_d. \quad (5.2)$$

Вектор данных о вагонах i -го поезда описывается такой структурой:

$$V_i = \{m_i, C_i\}, i=1, \dots, N_d, \quad (5.3)$$

где m_i – количество вагонов в i -м поезде; C_i – вектор данных о назначении вагонов i -го поезда, который характеризуется такой структурой:

$$C_i = \{c_j\}, j=1, \dots, m_i, \quad (5.4)$$

где c_j – назначение j -го вагона в i -м поезде.

Алгоритм работы модуля прогноза прибытия грузовые поезда приведены на рис. 5.2 [112].

По результатам исследований, выполненных в разделе 4, на продолжительность движения грузового поезда и, соответственно, на время его прибытия, кроме собственно параметров железнодорожного участка (длина, профиль, ограничение скорости и т.п.), определенным образом влияют дата и время отправления с соседней технической станции, а также масса поезда.

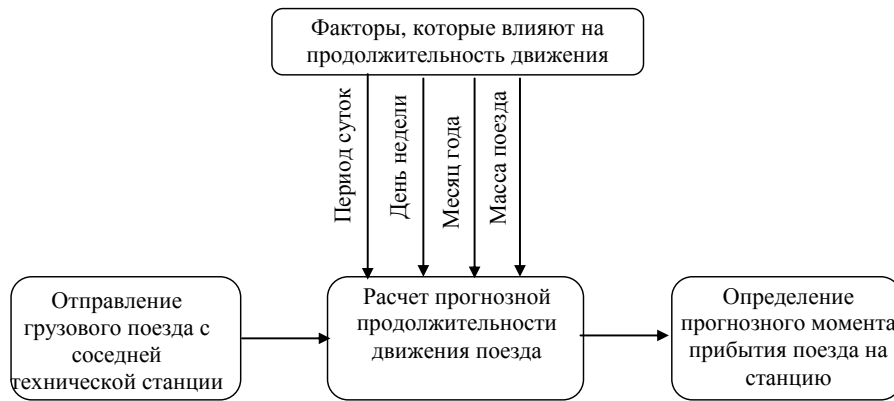


Рисунок 5.2 – Алгоритм работы модуля прогноза прибытия поездов

Принцип работы модуля прогноза прибытия поездов следующий (см. рис. 5.2): после получения оперативных данных об отправлении грузового поезда из соседней технической станции определяется прогнозная продолжительность движения поезда между станциями с учетом влияния определенных факторов, после чего рассчитывается прогнозный момент прибытия поезда на техническую станцию. Для расчетов прогнозной продолжительности движения поездов между техническими станциями направления целесообразно использовать аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС), который является эффективным современным средством прогнозирования любых величин и процессов, в том числе процессов, связанных с работой железнодорожного транспорта [113, 114].

Искусственная нейронная сеть – это параллельно распределенная система обработки информации, образованная тесно связанными простыми вычислительными узлами (однотипными или разными), которое имеет свойство накапливать экспериментальные знания, обобщать их и делать доступными для пользователя в форме, удобной для интерпретации и принятия решений. Основными понятиями в теории нейросетей являются: нейрон, архитектура сети и понятие обучения [115]. На рис. 5.3 приведен формальный нейрон – единица обработки информации в нейросети. Составными элементами нейрона являются x_1, x_2, \dots, x_n – входные сигналы сети, каждый из которых характеризуется своим весом w_1, w_2, \dots, w_n . Сумматор Σ подытоживает входные сигналы; функция активации f описывает правило перехода нейрона в новое состояние при поступлении новых сигналов.

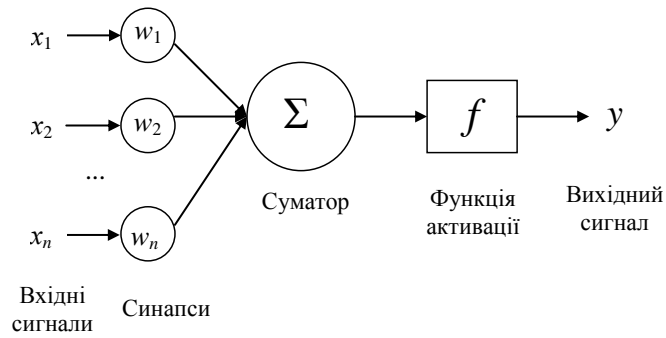


Рисунок 5.3 – Модель формального нейрона

5.2.2 Архитектура прогнозного модуля

При построении входного вектора нейросети значения каждого фактора были сгруппированы по интервалам определенной величины. Так, для кодирования времени отправления время было разделено на 8 периодов по 3 часа каждый ($\Delta t_{\text{отпр}}=3$ ч), т.е. при отправлении поезда в 6 ч 25 мин, что отвечает 3-му периоду суток, соответствующий элемент входного вектора имеет значение «1», а остальные – «0» (рис. 5.4). Аналогично выполнялось кодирование массы поезда, значение которой было разделено на интервалы с шагом $\Delta q=500$ т. [114].

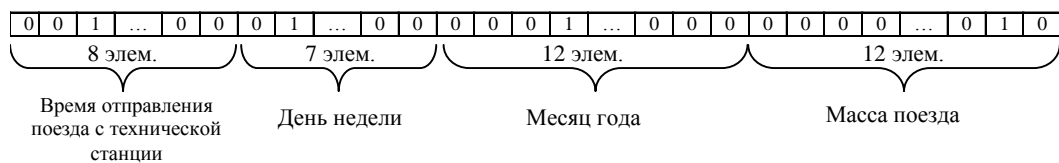


Рисунок 5.4 – Кодирование входного вектора фактических данных о поезде

Для прогнозирования продолжительности движения поездов между техническими станциями был выбран персептрон – нейросеть, которая дает наименьшую величину погрешности прогноза и структура которой приведена на рис. 5.5 [114].

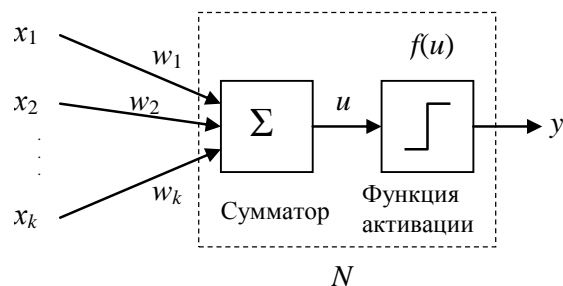


Рисунок 5.5 – Структура нейросети типа «персептрон»

На рис. 5.5 x_1, x_2, \dots, x_k – входные сигналы сети, каждый из которых характеризуется своим весом w_1, w_2, \dots, w_k , где k – это размерность входного вектора (в данном случае $k=39$). Количество нейронов N в слое отвечает количеству поездов в учебной выборке. Сумматор Σ выполняет обработку входных сигналов по выражению:

$$u = \sum_{i=1}^k w_i x_i . \quad (5.5)$$

Функция активации f формулирует правило перехода нейрона, который находится в момент времени g в состоянии $z(g)$, в новое состояние $z(g+1)$ при поступлении новых сигналов x . Активационная функция имеет такой вид [115]:

$$f = \begin{cases} 1, & \text{при } u \leq 0, \\ 0, & \text{при } u > 0. \end{cases} \quad (5.6)$$

Принцип работы нейросети базируется на поиске похожих параметров отправления поездов в учебной выборке (базе статистических данных прогнозной модели) и формировании соответствующего значения продолжительности движения при поступлении входного вектора параметров с фактическими данными об отправлении поезда.

На рис. 5.6 приведен алгоритм работы персептрона для определения прогнозной продолжительности движения грузового поезда [114].



Рисунок 5.6 – Алгоритм работы прогнозного модуля

Таким образом, для расчетов прогнозной продолжительности движения поезда между техническими станциями направления используется нейронная сеть, а именно персептрон. Для этого применяются данные о месяце, дне недели и время отправления на протяжении времени, а также масса поезда и тип локомотива; величина интервалов массы поезда была принята равной $\Delta q=100$ т, времени отправления поезда $\Delta t_{\text{отпр}}=1$ час; при этом доля отклонений прогнозных данных о продолжительности движения поезда от фактических составляет 3%, что есть приемлемым в технических расчетах.

Исследования работы построенной нейросети показали, что наименьшее влияние на качество прогнозирования имеет месяц отправления (погрешность прогноза при неучете этого фактора 4%). Существенное влияние на качество прогнозирования продолжительности движения поездов имеют день недели отправления и масса грузового поезда – 8,3 % и 14 % соответственно. Самое большое влияние на качество прогнозирования имеет период времени отправления поезда с соседней технической станции, относительная погрешность при неучете этого фактора достигает почти 20 %.

5.2.4 Проверка адекватности нейросети

Для оценки адекватности разработанного метода прогнозирования продолжительности движения грузовых поездов между техническими станциями железнодорожного направления выполнен статистический анализ случайных величин продолжительности движения поездов, полученных из банка данных АСКГП УЗ-Е для участка Жмеринка – Казатин и в результате симуляции нейронной сети. Для этого были выполнены исследования фактических значений продолжительности движения грузовых поездов $\mathbf{x}=(x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$, $n_x=100$ и расчетных значений, полученных в результате использования нейросети $\mathbf{y}=(y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$, $n_y=100$. В результате обработки статистических данных, установлено, что случайные величины X и Y подчинены логарифмически-нормальному закону с параметрами соответственно $M[X]= 3,58$ ч и $\sigma[X]=0,62$ ч, а также $M[Y]= 3,32$ ч и $\sigma[Y]=0,54$ ч,

Кроме того, была выполнена проверка гипотезы о принадлежности указанных выборок к одной генеральной совокупности. Для проверки гипотезы

об однородности двух выборок $(x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$ и $(y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$ объемами соответственно $n_x = 100$ и $n_y = 100$ был использованный U -Критерий Уилкоксона [108]. Критерий Уилкоксона определяется по помощи выражений

$$u_x = R_x - \frac{n_x(n_x + 1)}{2}, \quad u_y = R_y - \frac{n_y(n_y + 1)}{2}, \quad (5.7)$$

где R_x, R_y – сумма рангов, которые отвечают элементам выборок x_i ($i=1, \dots, n_x$) и y_j ($j=1, \dots, n_y$).

Ранги r_i (r_j) представляют собой номера элементов обеих выборок, расположенных в порядке возрастания ($r \in [1, n_x + n_y]$). В результате расчетов указанных величин для выборок x_i и y_j были получены значения $R_x = 9876$, $u_x = 4826$ и $R_y = 10224$, $u_y = 5174$.

При проверке гипотезы $H: FX = FY$ против конкурирующей гипотезы $H_1: FX \neq FY$ принимается двусторонняя критическая область; при этом гипотеза H отвергается, если $\min(u_x, u_y) < U_{n_x, n_y, \alpha}$. Приближенную величину критического значения $U_{n_x, n_y, \alpha}$ можно рассчитать как [108]

$$U_{n_x, n_y, \alpha} \approx \frac{1}{2} n_x n_y - \lambda_q \sqrt{\frac{1}{12} n_x n_y (n_x + n_y + 1)}, \quad (5.8)$$

где λ_q – квантиль порядка q логарифмически-нормального распределения.

Квантиль q определяется согласно принятому уровню значимости:

$$q = 1 - \alpha / 2, \quad (5.9)$$

где α – уровень значимости (принято $\alpha = 0,05$).

Для выборок, которые рассматриваются, x_i и y_j : $n=100+100=200$, $q=1-0,05/2=0,975$, $\lambda_{0,975}=1,960$ [108]. Тогда согласно (5.8) $U_{n_x, n_y, \alpha} = 4197,84$. Поскольку $\min(u_x, u_y) = 4826 > 4197,84$, то основная гипотеза H о принадлежности выборок x_i и y_j к одной генеральной совокупности не противоречит экспериментальным данным и может быть принята.

Таким образом, можно сделать вывод, что расчеты продолжительности движения поездов между техническими станциями с использованием нейросети типа персептрон являются адекватными фактическим данным и могут быть использованы при прогнозировании моментов прибытия поездов.

5.3 Модель работы сортировочной станции

5.3.1 Структура модели

Для разработки и оценки оперативных планов поездообразования на сортировочных станциях необходимо иметь данные о прогнозных моментах готовности поездов к выполнению различных технологических операций, в т.ч:

- прогнозные моменты прибытия поездов на станцию;
- готовность поездов к расформированию;
- количество и назначения вагонов, а также текущее состояние сортировочных путей;
- продолжительность выполнения технологических операций при приеме, расформировании/формировании и отправлении поездов;
- готовность составов к окончанию формирования и к отправлению;
- готовность поездных локомотивов и бригад к отправлению;

В данном исследовании для решения указанных задач использована имитационная модель сортировочной станции, которая была разработана в ДНУЖТ имени академика В. Лазаряна [93].

При разработке модели сортировочная станция рассматривается как стохастическая многофазная многоканальная система массового обслуживания (СМО), которая состоит из комплекса технологических подсистем, каждая из которых также моделируется как СМО и представляет собой отдельный универсальный имитационный модуль. Таким образом, в общей структуре модели сортировочной станции были выделены такие модули (рис. 5.7): модуль парка прибытия; модуль сортировочного парка; модуль парка отправления; модуль управления работой станции.

В качестве входного потока заявок на обслуживание в системе используются результаты функционирования модуля прогноза прибытия поездов (см. рис. 5.7). *Модуль парка прибытия* предназначен для моделирования технологического процесса обслуживания поездов, которые поступают в расформирование. *Модуль сортировочного парка* необходим для моделирования процесса расформирования, накопления и формирования составов. *Модуль парка отправления* предназначен для моделирования обслуживания транзитных поездов и поездов своего формирования.

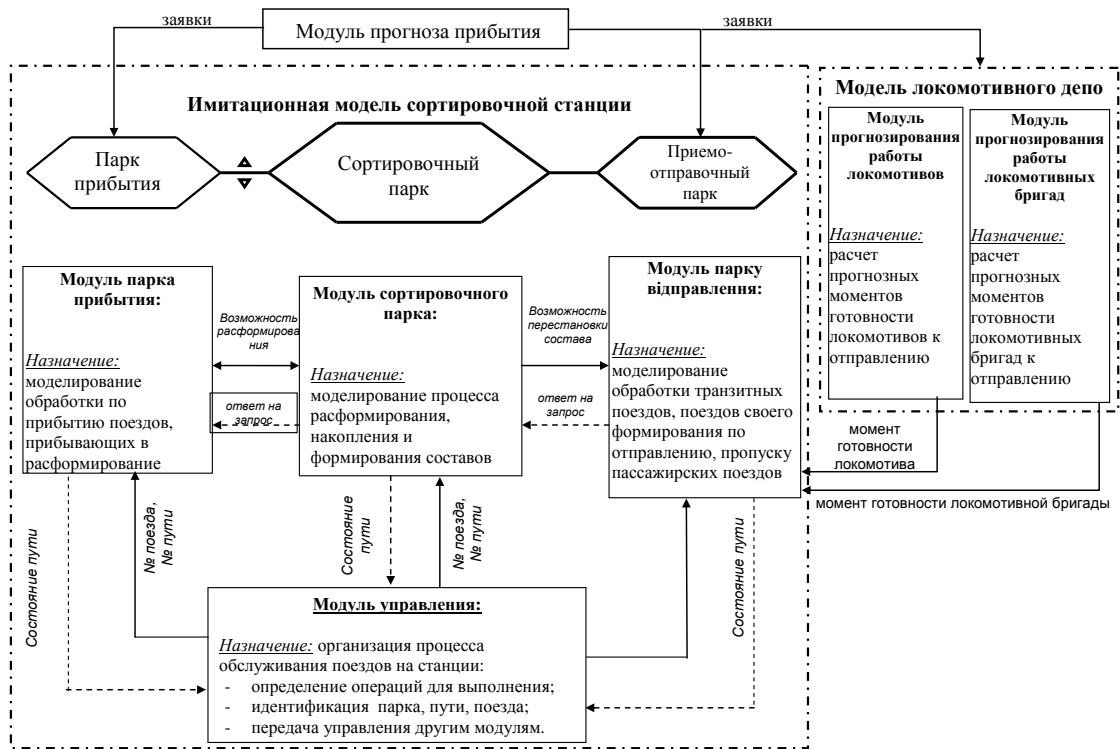


Рисунок 5.7 – Структура имитационной модели работы сортировочной станции

5.3.2. Входящий поток

Входящий потоком заявок в модель являются поезда (объекты), параметры каждого из которых определяются структурой:

$$O_i = \{K_{\text{п}}, T_{\text{пр}}, \mathbf{B}, \mathbf{F}, \mathbf{V}\},$$

где $K_{\text{п}}$ – категория поезда;

$T_{\text{пр}}$ – прогнозный момент прибытия поезда на станцию (см. п. 5.2);

\mathbf{B}, \mathbf{F} – соответственно, вектор моментов начала и окончания технологических операций с поездом;

\mathbf{V} – вектор вагонов в составе поезда: $\mathbf{V} = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$

Каждый элемент вектора \mathbf{V} описывается структурой:

$$v_j = \{R_{\text{в}}, N_{\text{п}}, L_{\text{усл}}, Q_{\text{т}}, Q_{\text{гр}}\},$$

где $R_{\text{в}}$ – тип вагона;

$N_{\text{п}}$ – назначение вагона в сортировочном парке;

$L_{\text{усл}}, Q_{\text{т}}, Q_{\text{гр}}$ – соответственно условная длина, тара и масса груза в вагоне.

Входящий поток поездов генерирует модуль прогноза прибытия поездов (см. п. 5.2). В свою очередь информация о параметрах поездов и моментах их отправления поступает в данный модуль из АСУПП-УЗ.

5.3.3. Построение структурных модулей модели станции

К системе обслуживания станции относятся ее путевое развитие, которое объединено в парки (прибытия, сортировочный и приемо-отправочные), исполнители технологических операций (бригады ПТО, бригады ПКО, маневровые и поездные локомотивы и т.п.).

Парки станции в модели представлены векторами:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}.$$

Каждый элемент вектора P описывается структурой:

$$p_i = \{N_{pt}, O_i, L_{max}, L_{usl}\},$$

где N_{pt} – номер пути в парке; O_i – номер поезда на пути; L_{max} – полезная длина пути (в условных вагонах); L_{usl} – суммарная условная длина вагонов, находящихся на пути в данный момент. Для путей сортировочного парка вводится еще один параметр L_{okn} – суммарная длина межвагонных «окон» на пути (в условных вагонах).

Маневровые локомотивы описываются структурами:

$$L = \{O_i, T_3, G\},$$

где O_i – номер поезда, который обслуживается локомотивом в данный момент;

T_3 – момент окончания обслуживания предыдущего состава;

G – вектор технологии маневрового локомотива, который включает его специализацию, параметры для моделирования продолжительности выполнения маневровых операций.

Аналогичной структурой описываются и бригады ПТО и ПКО.

Каждая из составляющих моделей представлена в виде отдельного модуля, в состав которого входят структуры низшего уровня. Перемещение объектов (вагонов, составов) между пунктами ожидания связано с использованием определенных правил обслуживания, предусмотренных технологическим процессом станции. Эти правила описаны процедурами, определяющие технологией и организацией работы сортировочной станции.

В каждом структурном модуле выделены определенные пункты ожидания и пункты выполнения технологических операций. Основными пунктами ожидания являются (рис. 5.8а): ОР – ожидание приема на станцию; ОТР –

ожидание подготовки к расформированию; OR – ожидание расформирования; OF – ожидание формирования; OTW – ожидание подготовки к отправке; OW – ожидание отправления. Основными пунктами выполнения операций являются (рис. 5.8б): PP – прием поезда; PR – подготовка состава к расформированию; RS – расформирование состава; ZF – окончание формирования состава; PW – подготовка состава к отправлению; WP – отправление поезда.

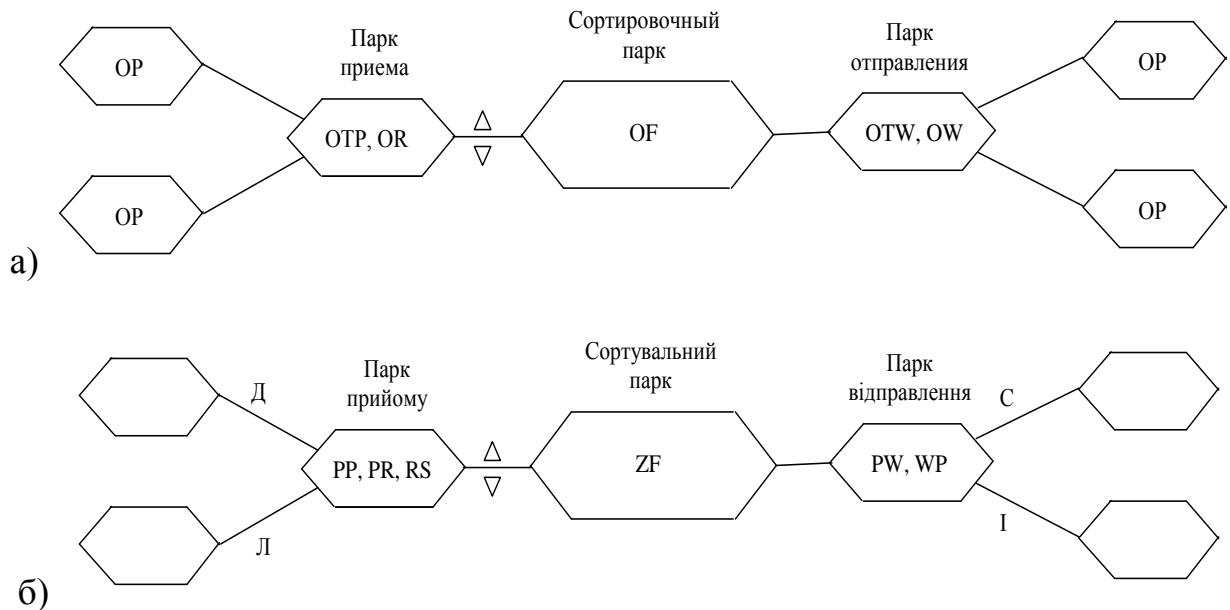


Рисунок 5.8 – Распределение пунктов: а) ожидания; б) выполнения операций

Модель парка прибытия (МПП) предназначена для моделирования полной обработки поездов, поступающих в расформирование. МПП включает следующие объекты:

- 1) путевое развитие (количество путей и их специализация, состояние путей, длина путей, объекты на пути);
- 2) исполнители технологических операций (бригады ПТО и ПКО, маневровые и поездные локомотивы, сигналисты и т.д.), каждый из которых характеризуется определенными параметрами (специализация исполнителя, состояние, номер объекта, который обслуживает исполнитель, момент освобождения).

В систему МПП поступают заявки в качестве прибывающих поездов. Пост обслуживания PP «приема поезда» выбирает поезда с пункта ожидания OP, превращая их в составы, которые располагает в пункте ожидания.

Пост обслуживание PR «подготовка составов к расформированию» выбирает составы из пункта ожидания ОТР и после выполнения соответствующих операций располагает их в пункте ожидания ОР.

Пост обслуживания RS «расформирования состава» выбирает составы из пункта ожидания ОР и превращает их в отцепы. Окончание RS не ведет к началу следующего обслуживания. Для выполнения RS необходимо привлечение на некоторое время маневрового локомотива, а также занятия сортировочной горки. Кроме того, ко времени обслуживания RS добавляется время для осаживания вагонов на сортировочных путях. Окончание обслуживания приводит к освобождению соответствующего пути.

Следует отметить, что модель допускает выбор очередности выполнения операций (приема, технического осмотра, расформирования) диспетчером. С этой целью используется *информационная модель (ИМ)*, которая отражает текущее состояние на путях соседних станций, парка прибытия и сортировочного парка. В парке также отображается ход выполнения операций, предусмотренных технологическим процессом, с каждым поездом. ИМ предусматривает для диспетчера возможность выбора очередности обслуживания поездов путем подачи команд на начало определенных технологических операций (приема поезда в парк, технического и коммерческого осмотра, расформирования). Внешний вид ИМ парка эргатической модели подсистемы "парк прибытия - сортировочный парк" большой станции представлен на рис. 5.9.

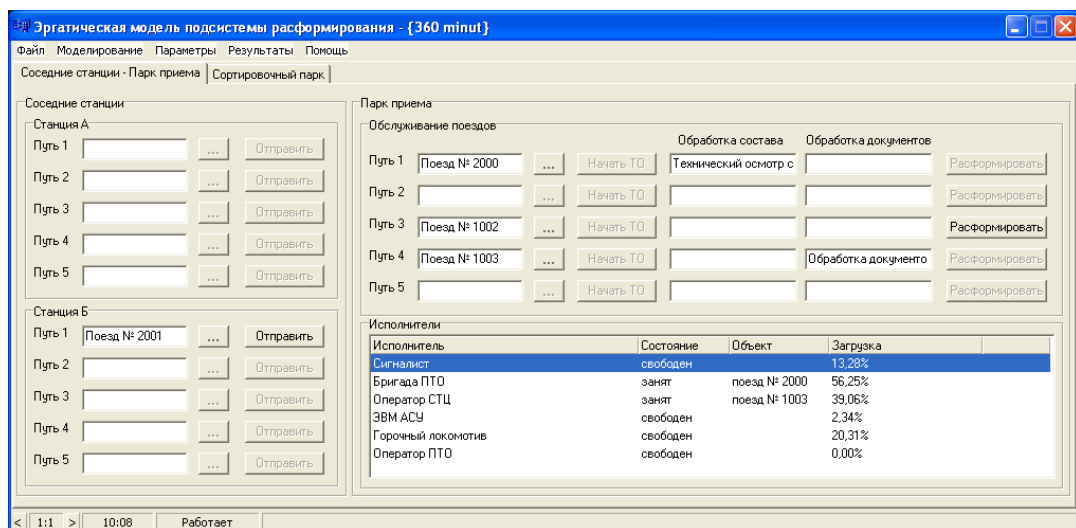


Рисунок 5.9 – Информационная модель подсистемы расформирования

Модель сортировочного парка (МСП) является основным элементом модели и предназначена для моделирования процесса расформирования, накопления и формирования составов. МСП включает следующие объекты:

- 1) путевое развитие (количество путей и их специализация, состояние путей, длина путей, объекты на пути, нормы накопления составов по массе и по условной длине, итоговые данные о состоянии накопления составов);
- 2) маневровые локомотивы (состояние и номер объекта, который обслуживает исполнитель, момент освобождения локомотива).

Входным потоком заявок в МСП являются составы, которые расформируются; выходным потоком системы являются сформированные составы.

Генератор GF после каждого роспуска состава проверяет все сортировочные пути на факт накопления состава (по массе или по условной длине), генерирует задание на окончание формирования составов и направляет их в пункт ожидания OF. Пост обслуживания ZF воспринимает эти задачи и выполняет их. Для выполнения формирования необходимо привлечение маневрового локомотива с составительской бригадой.

Внешний вид информационной модели сортировочного парка приведена на рис. 5.10.

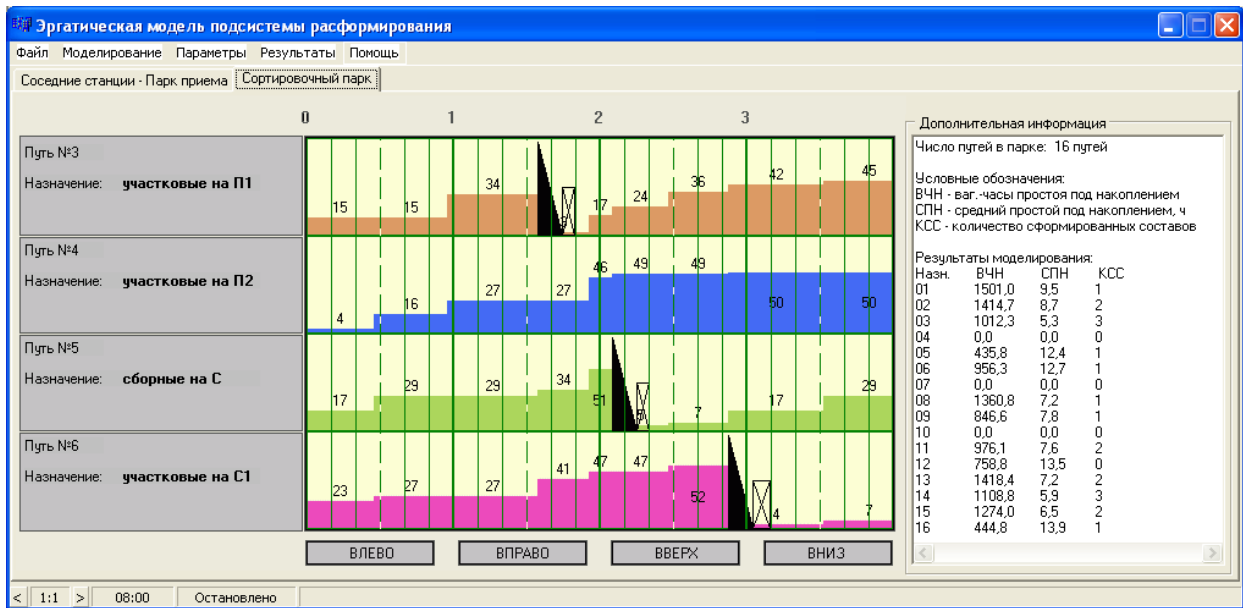


Рисунок 5.10 – Информационная модель сортировочного парка

Модель парка отправления (МПО) предназначена для моделирования обработки транзитных поездов и поездов своего формирования по отпращиванию. МПО включает следующие объекты:

- 1) *путевое развитие* (количество путей и их специализация, состояние путей, длина путей, объекты на пути и др.);
- 2) *исполнители операций* (бригады ПТО и ПКО, маневровые и поездные локомотивы, сигналисты и т.д.), каждый из которых характеризуется определенными параметрами (специализация исполнителя, состояние, номер объекта, который обслуживает исполнитель, моменты освобождения).

В систему МПО поступают входные заявки в качестве прибывающих поездов (транзитных без переработки и пассажирских) и составов своего формирования из системы МСП. Пост обслуживание РВ «подготовка поезда к отпращиванию» выбирает составы из пункта ожидания ОТВ в пункт ожидания ОВ. После окончания обслуживания РВ сформированный состав превращается в поезд, готовый к отправке со станции. Пассажирские поезда по прибытии на станцию сразу же передаются в пункт ожидания отпращивания ОВ.

Пост обслуживание ВР «отпращивания поезда» выбирает поезда с пункта ожидания ОВ, передавая их на выход системы в соответствии с назначением поезда. При этом учитывается наличие готовых к отпращиванию локомотивов (модель локомотивного депо, рис. 5.7), а также ближайшие свободные нитки графика движения поездов. Модель допускает выбор очередности отпращивания поездов диспетчером.

После окончания процесса моделирования выполняется расчет основных показателей работы станции в целом и по отдельным паркам. Пример файла с результатами моделирования приведены в Приложении В.1. Полученные результаты позволяют проанализировать качество организации технологического процесса работы станции и определить "узкие" места. Кроме того, на основе данных о работе станции можно построить график выполненной работы (ГВУ), фрагмент которого для примера приведен в Приложении В.2., а также проанализировать различные варианты оперативного плана работы.

5.3.4. Оценка адекватности модели станции

Для оценки адекватности модели была выполнена ее идентификация на основании данных хронометража и обработки графиков исполненного движения (ГИД). Фрагмент таблицы хронометража приведен в приложении В.3.

Оценка адекватности выполнена на основе статистического сравнения двух выборок о продолжительности нахождения составов своего формирования в сортировочно-отправочном парке ПД:

1) выборка фактических значений, полученных на основе обработки ГИД за 3 суток: $\mathbf{x}=(x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$, $n_x=114$

2) выборка значений, полученных в результате суточного моделирования работы станции: $\mathbf{y}=(y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$, $n_y=36$

В результате обработки статистических данных, установлено, что случайные величины X и Y подчинены логарифмически-нормальному закону с параметрами соответственно $M[X]=1,79$ ч и $\sigma[X]=0,53$ ч, а также $M[Y]=1,66$ ч и $\sigma[Y]=0,38$ ч.

Кроме того, была выполнена проверка гипотезы о принадлежности указанных выборок к одной генеральной совокупности. Для проверки гипотезы об однородности двух выборок $(x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$ и $(y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$ объемами соответственно $n_x=114$ и $n_y=36$ был использованный U -критерий Уилкоксона.

В результате расчетов указанных величин для выборок x_i и y_j были получены (5.7) значения $R_X=8879$, $u_x=2334$ и $R_Y=2436$, $u_y=1770$.

Для выборок, которые рассматриваются, x_i и y_j : $n=114+36=150$, $q=1-0,05/2=0,975$, $\lambda_{0,975}=1,960$ (5.9). Тогда согласно (5.8) $U_{n_x, n_y, \alpha}=1606$. Поскольку $\min(u_x, u_y)=1770 > 1606$, то основная гипотеза H о принадлежности выборок x_i и y_j к одной генеральной совокупности не противоречит экспериментальным данным и может быть принята.

6. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОВОБРАЗОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

6.1. Исследование эффективности оперативного управления в подсистеме расформирования станции

6.1.1 Постановка задачи исследования

Разработанная модель сортировочной станции после проверки ее адекватности может быть использована для решения широкого круга задач, связанных с оценкой разных вариантов технико-эксплуатационных и организационных мер, направленных на усовершенствование работы железнодорожных станций. Модель позволяет получить необходимые технико-эксплуатационные показатели, которые характеризуют работу станции при реализации того или иного управленческого решения при оперативном управлении. С этой целью в процессе моделирования работы станции ведется подробный протокол, который позволяет проанализировать выполнение технологических операций при обслуживании каждого объекта. При этом фиксируются моменты начала и окончания каждой операции с каждым объектом (поездом, локомотивом, составом). По результатам нескольких реализаций моделирования работы станции устанавливаются средние значения разных показателей (простой поездов под обработкой и в ожидании обслуживания, задержки по неприему и у входных сигналов, загрузка отдельных элементов станции и т.д.). Полученные таким образом значения показателей могут быть использованы при технико-экономической оценке вариантов усовершенствования технологии работы станции и методов оперативного управления.

Анализ данных о простое в ожидании обслуживания позволяет выявить «узкие» места на станции и рассмотреть варианты технического переоснащения станции или изменения технологического процесса работы (увеличение числа путей, реконструкция горловин станции, увеличение количества маневровых локомотивов, внедрение более современной системы управления стрелками и сигналами, введение на станции автоматизированной системы управления и др.).

При выполнении данного исследования была поставлена задача с помощью разработанной модели исследовать работу подсистемы „парк прибытия – сортировочный парк” сортировочной станции Жмеринка при разной интенсивности и структуре входного потока поездов, а также при разных вариантах дисциплины обслуживания поездов в подсистеме расформирования. На основе проведенных экспериментов с моделью необходимо выбрать наиболее рациональный вариант дисциплины обслуживания поездов, исходя из условия минимизации времени нахождения вагонов на путях парка прибытия М и сортировочного парка ПД.

6.1.2 Условия проведения исследования

Поезда, которые прибывают на станцию Жмеринка в расформирование, поступают в парк прибытия М с разных подходов с определенной интенсивностью. Каждый поезд характеризуется составом вагонов, которые имеют определенное назначение. В парке прибытия М с поездами выполняется предусмотренный технологическим процессом перечень операций (закрепление, технический и коммерческий осмотры, обработка документов, расформирование). Продолжительности выполнения технологических операций моделируются как случайные величины по законам распределения, которые были установлены в результате статистической обработки данных хронометража (приложение В.3). При проведении экспериментов предусмотрены, что в парке М есть по одному исполнителю каждой специализации.

После расформирования поезда вагоны поступают на пути сортировочного парка ПД в соответствии с их назначением. Для каждого назначения в начале эксперимента в соответствии с планом формирования определяется норма накопления (в вагонах). На путях парка ПД вагоны накапливаются до полного состава, после чего выполняются операции по окончанию формирования и подготовка поездов к отправлению.

Человек-оператор модели (ЧО) имеет возможность руководить приемом поездов, их обработкой в парке прибытия и расформированием. Для этого ЧО с помощью соответствующих элементов информационной модели

(рис. 5.9) дает команды на прием поезда, начало технического осмотра, начало расформирования, т.е. ЧО может управлять дисциплиной обслуживания.

Для определения наиболее рациональной очередности приема, обслуживания и расформирования поездов ЧО имеет возможность в интерактивном режиме во время моделирования просмотреть информацию о составе поезда, наличие в нем вагонов на разные назначения. Кроме того, модель дает возможность контролировать процесс накопления вагонов в сортировочном парке. По результатам каждого эксперимента рассчитываются показатели работы, а именно:

- количество расформированных поездов;
- количество сформированных поездов;
- среднее время нахождения поезда на соседней станции из-за не возможности приема в парк прибытия станции Жмеринка;
- среднее время простоя вагона в парке М t_{mn} ;
- среднее время простоя вагона под накоплением в сортировочном парке ПД t_{cn} ;
- общие вагоно-часы накопления;
- общее время нахождения вагона в системе $t_{об}$.

Пример файла с результатами моделирования по одному из вариантов приведен в Приложении В.1.

При проведении исследования было рассмотрено три варианта с разной интенсивностью поездопотока: 1) $\lambda=1$ поезд/ч.; 2) $\lambda=2$ поезд/ч; 3) $\lambda=3$ поезд/ч.

Моделирование работы станции для каждого с этих трех вариантов была выполнена при разной структуре входного потока поездов. Рассматривались по три набора потока поездов, которые отличались между собой: количеством вагонов в составе и их назначением. Конечный результат по каждому из вариантов интенсивности рассчитывался как среднее значение, которое определялось по трем полученным по результатам моделирования работы при разной структуре состава поездов.

Результаты по каждому из намеченных вариантов моделирования

определялись для двух дисциплин обслуживания:

- для дисциплины FIFO (first in first out), которая предусматривает обслуживание поездов в порядке их поступления в систему;
- для оптимального варианта дисциплины обслуживания.

Оптимальная дисциплина обслуживания определялась среди нескольких наиболее целесообразных вариантов, которые отличались друг от друга порядком обслуживания поездов. При этом увеличивалось время нахождения вагонов в парке прибытия, но в некоторых случаях изменение очередности обслуживания позволяло существенно ускорить процесс накопления составов в сортировочном парке ПД за счет первоочередного расформирования поездов с замыкающими группами, что в итоге дало возможность уменьшить простой вагонов под накоплением. Оптимальный вариант определялся по минимуму значения общего простоя вагона в системе. Моделирование выполнялось по 4-х часовым периодам.

6.1.3. Анализ результатов исследования

Анализ полученных результатов (табл. 6.1) показал, что при незначительной интенсивности входного потока поездов в расформирования ($\lambda = 1$) оптимальной оказалась дисциплина FIFO. Это объясняется тем, что при незначительных объемах работы в большинстве случаев задерживать обслуживание поездов в парке приема нецелесообразно. В то же время при росте объемов работы ($\lambda = 2, \lambda = 3$) изменение очередности обслуживания дает определенный эффект. При этом общий простой вагона в системе уменьшается на величину Δt в сравнении с дисциплиной FIFO.

Для определения суточной экономии эксплуатационных затрат от применения рациональной дисциплины обслуживания воспользуемся формулой:

$$\Delta \mathcal{E} = 24 \cdot \lambda \cdot m_{\text{ваг}} \cdot \Delta t \cdot C_{\text{ваг-ч}}, \quad (6.1)$$

где λ – интенсивность входного потока,

$m_{\text{ваг}}$ – количество вагонов (принимается 56 вагонов),

Δt – экономия времени простоя, час.

$C_{\text{ваг-ч}}$ – стоимость 1 вагоно-часа простоя (принято 6,5 грн.)

Данные результатов расчета сведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Оценка эффективности оперативного управления в подсистеме „парк-прибытие – сортировочный парк”

Показатели	Интенсивность входного потока поездов λ , поездов/ч					
	1,0		2,0		3,0	
	Вариант дисциплины обслуживания поездов					
	FIFO	Оптим.	FIFO	Оптим.	FIFO	Оптим.
Средний простой вагона в ПП $t_{пп}$, ч.	1,2	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7
Средний простой вагона в СП $t_{сп}$, ч.	3,6	3,6	3	2,7	2,6	2,2
Общий простой вагона в системе $t_{об}$, ч.	4,8	4,8	4,3	4,1	4,2	3,9
Экономия времени простоя Δt , ч.	0,0		0,2		0,3	
Суточная экономия эксплуатационных затрат $\Delta \mathcal{E}$, тыс. грн	0,00		3,5		7,9	

Средний простой вагона в подсистеме расформирования при разной дисциплине обслуживания поездов приведены на рис. 6.1

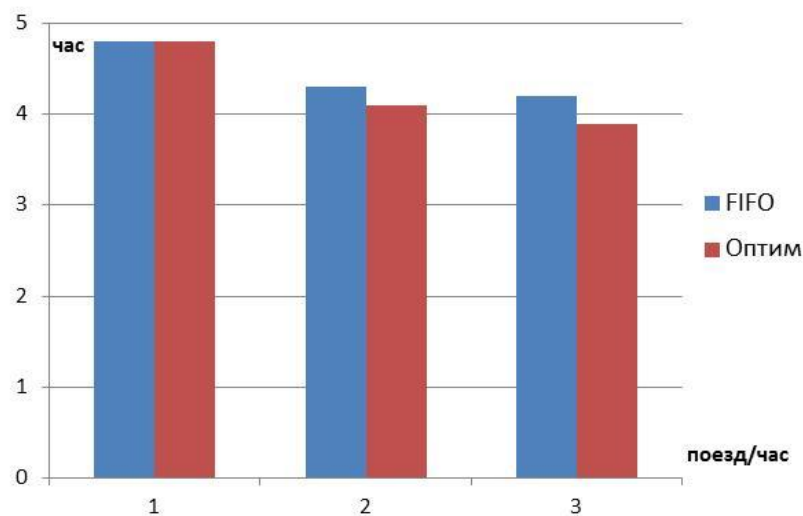


Рисунок 6.1 – Средний простой вагона в подсистеме расформирования при разной дисциплине обслуживания поездов

Данная модель может стать основой системы поддержки принятия оперативных решений по оперативному планированию составообразования на сортировочных станциях. Такая СППР позволит диспетчерскому персоналу оценивать технологические и экономические показатели того или иного управленческого решения, например, при выборе очередности обслуживания или расформирования поездов. Годовой эффект от сокращения простоев вагонов при этом может достигать до 2,8 млн. грн.

6.2. Исследование процесса составообразования методами планирования эксперимента

6.2.1. Постановка задачи исследования

Эффективность процесса составообразования зависит от огромного количества параметров, большинство из которых являются случайными величинами. В рамках данной работы была поставлена задача определить, какие факторы и с какой значимостью влияют на показатели процесса составообразования на сортировочной станции Жмеринка, которая расположена в МТК №9. Оценка влияния факторов даст возможность выбрать правильное направление при дальнейшей оптимизации процесса составообразования.

В качестве критерия эффективности принят основной показатель работы сортировочной станции – продолжительность простоя транзитного вагона с переработкой. Инструментом проведения исследований по оценке значимости перечисленных факторов и их влияния на итоговый критерий выбрано планирование факторных экспериментов. Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной с необходимой точностью [116]. При этом для проведения экспериментов и определения критерия эффективности при различной конфигурации факторов использована разработанная имитационная модель (раздел 5).

6.2.2. Выбор факторов и оценка границ областей их определения

Среди множества факторов, которые влияют на процесс составообразования, на основе предварительного анализа были выбраны следующие.

Обеспеченность сформированных на данной станции и готовых к отправлению составов поездными локомотивами. Как показывает анализ, значительное увеличение простоя сформированных на станции составов происходит вследствие ожидания ими свободных поездных локомотивов и локомотивных бригад.

Количество маневровых локомотивов, занятых окончанием формирования накопленных составов и выставкой их в парк отправления. Маневро-

вые локомотивы, которые выполняют окончание формирования накопленных составов, как обслуживающее устройство имеют относительно небольшую загруженность, но заявки на обслуживание по обыкновению поступают одновременно группами. Это обусловлено тем, что после очередного расформирования состава часто оказываются накопленными составы сразу на несколько назначений – в таком случае возникает простой составов в ожидании окончания формирования.

Количество бригад и групп в бригадах ПТО в парке отправления. В парке отправления осуществляется ТО двух категорий поездов – поездов своего формирования и транзитных поездов без переработки. Поэтому нередко возникает простой составов в ожидании обслуживания, величина которого прямо зависит от количества бригад ПТО и групп осмотрщиков в них.

Точность прицельного торможения отцепов при расформировании состава и частота выполнения осаживания после роспуска состава влияют на величину междувагонных «окон» на путях сортировочного парка, которые, в свою очередь, влияют на простой вагонов под накоплением. В данной работе точность торможения отцепов при роспуске состава с горки характеризуется величиной междувагонных «окон», что образуются на каждом сортировочном пути после очередного роспуска. Длина «окон» на каждом пути измеряется относительно свободного участка этого пути со стороны сортировочной горки. Точность торможения полагается постоянной и задается некоторым коэффициентом α , что входит в исходные данные моделирования (при этом значению $\alpha = 1$, соответствует наибольшая точность торможения, при которой междувагонные «окна» не образуются).

Заполнение резервного сортировочного пути, при котором нужно выполнять повторную переработку накопленных на ней вагонов. Во время расформирования состава на горке может возникнуть ситуация, когда сортировочный путь, который соответствует назначению очередного отцепа, заполнен полностью. В этом случае этот, а также все последующие отцепы того же назначения направляются на специализированный для этого резервный сор-

тировочный путь. Таким образом, на резервном пути образовывается группа вагонов разных назначений, которые нуждаются в повторной переработке. Возникает вопрос: как часто нужно выполнять повторную переработку вагонов резервного пути? В данном исследовании выполняется контроль за длиной группы вагонов на резервном пути (с учетом междувагонных «окон») относительно полезной длины этого пути. Если это отношения больше заданного коэффициента β , то выполняется повторная переработка вагонов.

Для каждого фактора выберем два уровня, на которых он будет варьироваться в эксперименте. Таким образом, процесс определяется семью факторами, характеристика которых приведена в табл. 6.2. Функцией отклика, при этом является продолжительность простоя транзитного вагона с переработкой на станции.

Таблица 6.2. – Кодирование факторов эксперимента

Код фактора	Наименование фактора	Ед. измерения	Интервал варьирования	Уровни факторов		
				нижний	основн.	верхний
x_1	Обеспеченность сформированных и готовых к отправлению составов поездными локомотивами	мин.	100	0	100	200
x_2	Количество маневровых локомотивов, занятых окончанием формирования накопленных составов	лок.	—	1	—	2
x_3	Число бригад ПТО в парке отправления	бриг.	—	1	—	2
x_4	Число групп в бригадах ПТО в парке отправления	групп	1	2	3	4
x_5	Точность прицельного торможения отцепов при расформировании состава	—	0,25	0,50	0,75	1,00
x_6	Частота выполнения осаживания после роспуска состава	ропуск	I	I	II	III
x_7	Заполнение резервного сортировочного пути, при котором нужно выполнять повторную переработку накопленных вагонов	%	25	50	75	100

6.2.3 Проведение факторного эксперимента

При планировании полного факторного эксперимента количество опытов определяется по формуле $N = 2^k$, где k – количество факторов. Для количества факторов $k = 7$ количество опытов $N = 2^7 = 128$. С целью уменьшения количества опытов выберем 1/4 реплики, то есть реплику вида 2^{7-2} с ко-

личеством опытов $N = 32$. Поскольку с ростом числа факторов возрастает и дробность реплик, которые используются, то для количества факторов $k = 7$ выбор именно реплики вида 2^{7-2} является наиболее приемлемым [116].

При планировании дробного факторного эксперимента новому фактору присваивается вектор – столбик матрицы плана эксперимента, который соответствует взаимодействию факторов и которым возможно пренебречь. Тогда значение нового фактора в условиях опытов определяется знаками этого столбика. При отсутствии априорной информации относительно несущественных взаимодействий для определения новых факторов используем взаимодействия высоких порядков [116]. Пользуясь таким планированием, приравняем факторы x_6 и x_7 согласно взаимодействиям 4 и 5 порядков:

$$x_6 = x_1 x_2 x_3 x_4 \quad x_7 = x_1 x_2 x_3 x_4 x_5$$

Полученная матрица планирования эксперимента отвечает всем требованиям, сформулированным в [116] и приведена в приложении Г.1.

Факторный эксперимент выполняется с использованием разработанной имитационной модели сортировочной станции (см. раздел 5). В каждом опыте эксперимента выполняется моделирование работы сортировочной станции за сутки при заданных значениях факторов. При этом другие исходные параметры процесса (средняя величина интервала прибытия поездов, количество колеи в парках станции, нормы накопления составов за массой и длиной и т.п.) для всех опытов принимались одинаковыми. По результатам проведения каждого опыта были рассчитаны значения простоя транзитного вагона с переработкой на станции, приведенные в приложении Г.2.

6.2.4 Анализ результатов факторного эксперимента

В качестве математической модели, которая описывает зависимость функции отклика от факторов, был избран полином первой степени. Оценки коэффициентов полинома определяются по формуле:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{N}, \quad j = 0, 1, \dots, k$$

Расчет выполняется по данным экспериментов (см. приложение Г). После расчетов получим следующую зависимость:

$$y = 8,072 + 1,256x_1 - 0,226x_2 - 0,102x_3 - 0,181x_4 + 0,149x_5 + 0,12x_6 + 0,027x_7$$

Анализ полученной зависимости позволяет сделать следующие выводы:

Наибольшее влияние на величину простоя транзитного вагона с переработкой на станции имеет фактор x_1 – обеспеченность сформированных на данной станции и готовых к отправлению составов поездными локомотивами. Дальше в порядке уменьшения имеем следующую значимость факторов: количество маневровых локомотивов, занятых окончанием формирования накопленных поездов и выставкой их в парк отправления x_2 , количество групп в бригадах ПТО в парке отправления x_4 , точность прицельного торможения отцепов при расформировании состава x_5 , частота выполнения осаживания после роспуска состава x_6 , количество бригад ПТО в парке отправления x_3 . Фактор x_7 – заполнение резервного сортировочного пути, при котором нужно выполнять повторную переработку накопленных на нем вагонов – имеет значительно меньшее влияние, по сравнению с другими.

Проследим характер влияния данных факторов на критерий эффективности. Коэффициент $+1,256$ при факторе x_1 свидетельствует о том, что с увеличением простоя состава в ожидании поездного локомотива увеличивается и общий простой состава на станции. Коэффициенты $-0,102$ и $-0,181$ соответственно при факторах «количество бригад ПТО в парке отправления» и «количество групп в бригадах ПТО в парке отправления» подтверждают то, что увеличение значений этих факторов приводит к ускорению вывода сформированных поездов со станции

Таким образом, с помощью проведенного факторного эксперимента определено, что на простой транзитного вагона с переработкой на сортировочной станции существенно влияет величина простоя сформированных составов в ожидании отправления.

6.2.5 Исследование простоя вагонов в парке приема

В рамках данной работы были также проведены факторные эксперименты, направленные на исследование показателей простоя транзитного вагона с переработкой в парке приема станции. С этой целью к уже рассмотренным факторам были добавлены следующие: количество горочных локомотивов x_8 ; количество бригад ПТО в парке приема x_9 ; количество групп осмотрщиков в бригадах ПТО в парке приема x_{10} .

Кодирование этих факторов и их характеристики приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3. – Кодирование факторов эксперимента

Код фактора	Наименование фактора	Ед. измерения	Интервал варьирования	Уровни факторов		
				нижний	основн.	верхний
x_8	Количество горочных локомотивов	лок.	—	1	—	2
x_9	Количество бригад ПТО в парке приема	бриг.	—	1	—	2
x_{10}	Число групп в бригадах ПТО в парке приема	групп	1	2	3	4

Для исследования показателя простоя транзитного вагона с переработкой в парке приема был проведен дробный факторный эксперимент с количеством факторов $k = 6$. С целью уменьшения количества опытов была выбрана реплика вида 2^{6-1} , при этом количество опытов составило $N = 2^5 = 32$.

Математическая модель выбранной функции отклика будет иметь вид:

$$y = 0,71 - 0,056x_5 + 0,011x_7 - 0,009x_8 - 0,005x_9 - 0,02x_{10}$$

Таким образом, наибольшее влияние на величину простоя транзитного вагона с переработкой в парке приема имеет фактор x_5 – точность прицельного торможения отцепов при роспуска состава. Другие факторы имеют значительно меньшее влияние на функцию отклика.

6.2.6 Исследование простоя вагонов в сортировочном парке

Для исследования показателя простоя транзитного вагона с переработкой под накоплением в сортировочном парке был проведен дробный факторный эксперимент с количеством факторов $k = 6$. С целью уменьшения количества опытов была выбрана реплика вида 2^{6-1} с количеством опытов 32.

Математическая модель будет иметь вид:

$$y = 5,295 + 0,034x_1 - 0,198x_2 - 0,169x_3 - 0,004x_6 - 0,02x_7 + 0,107x_8$$

Таким образом, наибольшее влияние на величину простоя транзитного вагона под накоплением имеют факторы x_2 – количество маневровых локомотивов в хвосте сортировочного парка и x_5 – точность прицельного торможения отцепов при роспуске.

6.2.7 Исследование простоя вагонов в транзитном парке

Для исследования показателя простоя транзитного вагона без переработки был проведен полный факторный эксперимент с количеством факторов $k = 4$, при этом количество опытов составляет $N = 2^4 = 16$.

Математическая модель будет иметь вид:

$$y = 1,875 + 0,671x_1 - 0,035x_2 - 0,073x_3 - 0,119x_4$$

Таким образом, наибольшее влияние на величину простоя транзитного вагона без переработки на станции имеют факторы x_1 – обеспеченность готовых к отправлению составов поездными локомотивами.

Полученные в ходе выполнения факторных экспериментов результаты свидетельствуют о том, что на показатели простоя транзитного вагона с переработкой и без переработки на сортировочной станции более всего влияет величина простоя сформированных составов в ожидании отправления по причине нехватки свободных поездных локомотивов. Поэтому можно считать, что наиболее целесообразным путем повышения эффективности процесса составообразования на сортировочных станциях является разработка методов оптимального распределения парка поездных локомотивов для уменьшения непроизводительного простоя готовых к отправлению составов. Рациональное планирование составообразования, в т.ч. с учетом обеспеченности поездными локомотивами, позволит существенно сократить непроизводительные простои вагонов и поездов на сортировочных станциях. В первую очередь это важно для станций, расположенных в международных транспортных коридорах. Сокращение простоев и повышение скорости продвижения вагонопотоков в МТК позволит повысить привлекательность украинских МТК для грузопотоков и эффективность использования транзитного потенциала транспортной системы Украины.

7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Сортировочная станция Жмеринка является крупным техногенным объектом, который занимает значительную площадь и включает большое количество технических объектов – путевое развитие, вагоны, локомотивы (поездные и маневровые), локомотивное и вагонное депо, грузовые пункты, пассажирский вокзал, сортировочные горки, пункты ремонта вагонов и др. Станция развивалась исторически и в настоящее время располагается практически в центральной части города Жмеринка с населением около 35 тыс. человек. Станция выполняет значительный объем поездной и маневровой работы, в т.ч. прием и отправление поездов, расформирование и формирование составов, технический осмотр и ремонт подвижного состава, экипировку и ремонт локомотивов, грузовые операции с вагонами, пассажирские операции (посадка, высадка пассажиров, прием-выдача багажа, продажа билетов и т.д.). Многие из этих операций в большей или меньшей степени оказывают негативное влияние на окружающую среду.

Каждый железнодорожный объект может предоставлять негативные влияния на состояние природной среды. Знание этих влияний позволяет устанавливать причины изменений в природной среде и живых организмов, а также выработать стратегию природоохранной деятельности на железнодорожном транспорте. Степень влияния железнодорожного транспорта на окружающую среду оценивают и по уровню расходования природных ресурсов, и по уровню загрязняющих веществ, которые поступают в естественную среду регионов, где расположенные предприятия железнодорожного транспорта. Интеграция железных дорог Украины в европейскую транспортную сеть предполагает существенное снижение негативного влияния железнодорожных объектов на окружающую среду. В связи с этим проблема и задача экологизации железнодорожных перевозок в нашей стране весьма актуальна.

Поездная работа на станции осуществляется на электровозной и тепловозной тяге. Однако наиболее негативное воздействие на окружающую среду оказывают выбросы тепловозных дизелей. В состав выхлопных газов тепло-

возных дизелей входят следующие основные компоненты: пары воды, кислород, двуокись углерода, окись и двуокись азота, водород, углеводороды, сернистый ангидрид, альдегиды и сажа. По характеру воздействия на человека их можно разделить на две группы. В первую группу входят нетоксичные вещества: азот, кислород, пары воды, двуокись углеводорода и водород. Действия второй токсической группы на человеческий организм разнообразно от неприятных ощущений до раковых заболеваний.

Попадая в организм человека, канцерогенные углеводороды накапливаются до критических концентраций, при которых стимулируется развитие злокачественных опухолей. Кроме того группы углеводородов (особенно олефины) играют наиболее активную роль в образовании смога. Они вступают в реакцию с окисями азота под воздействием солнечного облучения и образуют озон и другие, биологически активные вещества, которые вызывают заболевание глаз и носогорловой полости человека, а также вредно воздействуют на растительный и животный мир [117].

Окись углерода образуется во всех двигателях при всех режимах как промежуточный продукт, который подлежит дальнейшему окислению с образованием двуокиси углерода, при полном сгорании за счет плохого смешения и наличия зон с малым содержанием кислорода. Содержание окиси углерода в выхлопных газах дизелей относительно невелико по сравнению с карбюраторными двигателями, так как основные продукты неполного сгорания в выхлопных газах выделяются в виде сажи. Поступая в организм человека окись углерода, соединяется с гемоглобином крови, дает устойчивое соединение – карбоксигемоглобин, который ухудшает процесс газообмена и приводит к кислородному голоданию [118].

По воздействию на человека и всю природу окислы азота являются самыми вредными выбросами дизеля. Азот, соединяясь с кислородом, может образовывать 5 соединений: NO , NO_2 , NO_3 , NO_4 , NO_5 .

Непосредственно на человека NO_x воздействует с инкубационным периодом. Если человек работает на воздухе с большим содержанием NO_x , он вначале ничего не ощущает, но затем тяжело заболевает. При этом основное

воздействие NO_x происходит путем образования в дыхательных путях азотной и азотистой кислоты за счет реакции с водой. Степень воздействия NO_x на человека почти в 10 раз сильнее окиси углерода.

Сернистые соединения, выделяющиеся при работе тепловозных дизелей, разрушительно воздействуют не только на человека, но и на двигатель в виде коррозионного воздействия. При высоких температурах возникает газовая коррозия. При понижении температуры ниже точки росы происходит кислотная коррозия.

Сажа, которая в виде дыма выделяется с выхлопными газами, характеризует полноту сгорания. Как указывалось ранее, сажа образуется во всех дизелях, но затем выгорает в зависимости от эффективности процесса смесеобразования. При этом если сажи образуется много, то она не успевает выгорать в двигателе даже при хорошем смесеобразовании.

Сажевые частицы образуются при температуре выше 1073 К и при дефиците кислорода разогреваются во фронте пламени до 2073 - 3073 К. При такой температуре они не пускают мощные потоки электронов и световой энергии. Образованный при этом углерод не сгорает из-за высокой энергии активации и выбрасывается вместе с другими продуктами сгорания в выхлопных газах. Эти явления объясняют то, что в одинаковых условиях горения ароматические углеводороды выделяют сажи в 6.2 - 15.7 раз больше, чем олеиновые, и в 16.2 - 31.8 раз больше, чем парафиновые.

Сажа в выхлопных газах состоит не только из углерода, но и включает кислород, водород и ряд сложных циклических ароматических углеводородов, включая такие токсические вещества, как бензопирен. Поэтому дым дизельных двигателей, бесспорно, вредно действует на организм человека, но медициной не установлены точные вредные концентрации.

Маневровые тепловозы работают в переменных режимах с частыми троганиями, ускорениями и торможениями. В этом случае выброс отработанных газов значительно возрастает. Уровень загрязнения воздушной среды станции и прилегающих к ним районам зависит от числа одновременно занятых локомотивов.

Для предупреждения выхода экологических характеристик за пределы установленных норм, необходимо проводить техническую диагностику подвижного состава, которая является либо частью технического обслуживания и ремонта, либо самостоятельной операцией по определению его экологической безопасности.

Локомотивные депо имеют производства и осуществляют технологические процессы, характерные для технического обслуживания и ремонта подвижного состава всех видов транспорта. Компоненты и структура загрязняющих веществ в них в основном совпадают. Так, например, при окрасочных работах на предприятиях железнодорожного транспорта используются десятки тысяч тонн различных лакокрасочных материалов, при этом ежегодный выброс загрязняющих веществ в атмосферу достигает 35%.

Кроме того, в локомотивных депо выполняется загрузка сухого песка в тормозную систему локомотива. Технологический процесс подготовки песка включает сушку в сушильной печи при сгорании газа, угля или мазута, подачу сухого песка пневмотранспортером в хранилище, складирования и транспортировки в раздаточный бункер к месту загрузки. Процесс сопровождается выделением пылевидных частиц в окружающую среду практически на всех стадиях его протекания. В настоящее время пилеулавливателями на стационарных источниках оборудованы лишь 1,8% вагонных депо, 4,6% локомотивных депо, 7,8% котельных.

Предприятия Укрзализныци являются крупнейшими потребителями воды среди предприятий транспортного комплекса, ежегодно используя значительное количество воды для различных хозяйственно бытовых и производственных нужд. Воду используют и во многих технологических процессах железнодорожного хозяйства, при осуществлении которых ее загрязняют различные примеси, и она переходит в разряд производственных сточных вод. При этом локомотивное хозяйство потребляет около 10% всех водных ресурсов, потребляют предприятия железнодорожного транспорта. Использование воды в депо осуществляется для:

- охлаждения технологического оборудования;

- очистки и промывки подвижного состава, его узлов и деталей, технологического оборудования и т.д.;

- создания основы различных технологических растворов, применяемых при очистке подвижного состава, нанесении гальванических покрытий, регенерации фильтров и др.

Производственные сточные воды локомотивных депо в основном образуются в процессе внешней обмывки подвижного состава, при промывке узлов и деталей перед ремонтом, в гальванических цехах или участках, во время промывки и заправки аккумуляторов, регенерации фильтров, продувки и промывки паровых котлов, мытья смотровых канав и стирки спецодежды. Сброс сточных вод одним локомотивным депо составляет в среднем 20...400 тыс. м³ в год.

Существенным фактором, который негативно влияет на окружающую среду в результате работы сортировочной станции, является шум. Поскольку станция Жмеринка располагается в центральной части городской застройки, то данная проблема является весьма актуальной и требует решения.

Как показывает анализ, наибольшим источником шума на станции являются движущиеся поезда (62%), громкоговорящая связь (23%), сортировочные горки (10%), сигналы подвижного состава (5%).

Одним из эффективных решений данной проблемы, которая широко применяется на зарубежных железных дорогах является использование шумозащитных экранов, которые устанавливаются вдоль границы (полосы отвода) станции. Однако, такое решение требует значительных капитальных инвестиций, которые в настоящее время для железных дорог Украины неподъемны. Так, 1 м² шумозащитного экрана в среднем составляет около 100...150 USD, соответственно при эффективной высоте экрана 3,6 м. стоимость сооружения 1 км составит около 0,5 млн. USD.

Другим направлением снижения шума на станции является рациональное использование парковой громкоговорительной связи, снижение ее громкости, установка специальных экранов вокруг динамиков. При этом следует максимально использовать индивидуальные средства связи, которые есть у

большинства работников станции, работающих непосредственно в парках.

Значительный шум происходит от работы сортировочных горок, в первую очередь, при торможении вагонов замедлителями или тормозными башмаками. Так, уровень шума от торможения вагонов замедлителями составляет около 100 дБА. Для снижения уровня такого шума следует устанавливать шумопоглощающие экраны в непосредственной близости от тормозных позиций. Одним из способов уменьшения шума, возникающего в процессе взаимодействия колес вагонов с тормозными шинами замедлителей, является использование специальных шумопоглощающих установок, например, «BREMEX-ANNSYS «Basis» словенской компании ELPA. Такая установка позволяет снизить уровень шума на 20...30 дБА.

К общим мероприятиям по повышению экологичности сортировочной станции Жмеринка можно отнести:

- строительство новой газовой котельной или перевода действующей на газовое топливо;
- внедрение современных систем газоочистки котельной;
- внедрение современных систем пылеулавливания от основного производственного оборудования депо;
- строительство и реконструкция вентиляционных систем в депо;
- внедрение оборудования для улавливания окислов тяжелых металлов;
- техническое переоснащение цехов, замена технологических процессов на более экологичные; внедрение систем автоматизированного контроля и регулирования концентрации вредных веществ в воздухе;
- установка фильтрационного оборудования для сточных вод в вагонном и локомотивном депо;
- использование современных систем и фильтров для очистки выхлопных газов маневровых локомотивов, применение наиболее экологичных режимов работы локомотивов;
- модернизация оборудования для торможения вагонов на сортировочных горках;
- установка шумозащитных экранов возле наибольших источников шума.

ВЫВОДЫ

1. За последние 10 лет в 1,6 раза вырос оборот грузового вагона, который является комплексным показателем эффективности работы железных дорог. При этом более 40% от общей величины оборота вагона составляют простои на технических, прежде всего сортировочных станциях. Сократить время нахождения вагонов на технических станциях можно, в первую очередь, за счет совершенствования системы оперативного планирования и управления поездной работой на станциях по расформированию и формированию поездов.

2. Эффективным направлением совершенствования технологии оперативного планирования и управления на технических станциях является оснащение рабочих мест диспетчерского персонала современными АРМами с системами поддержки оперативных решений. В основе такой СППР должна быть эффективная имитационная модель станции или ее отдельной подсистемы, которая позволяет оценить эффективность различных вариантов организации работы при оперативном планировании.

3. Украина имеет значительный транзитный потенциал, который необходимо развивать, в первую очередь через развитие системы международных транспортных коридоров. Одним из основных МТК, проходящих по территории Украины является критский транспортный коридор №9, обеспечивающий связь между портами Средиземного, Черного и Балтийского морей. В этой связи задача совершенствования перевозочного процесса в указанном МТК, в т. ч. за счет повышения эффективности оперативного управления на узловой сортировочной станции Жмеринка, является актуальной задачей, решение которой невозможно без применения современных математических подходов и средств вычислительной техники.

4. Анализ продолжительности движения поездов на направлении Казатин-1 – Жмеринка – Вапнярка показал, что на продолжительность нахождения поезда на участке существенно влияют время и дата его отправления из соседней технической станции, а также масса поезда. Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании продолжительности движения поездов между техническими станциями направления.

5. Для прогнозирования моментов прибытия поездов на технические станции железнодорожного направления целесообразно использовать математический аппарат нейронных сетей, который позволяет учесть момент отправления поезда и его параметры для определения прогнозной продолжительности движения поезда между техническими станциями; при этом, как показали исследования, погрешность полученных результатов не превышает 5%.

6. Для исследования эффективности оперативных управленческих решений использована имитационная модель сортировочной станции и прилегающих участков, разработанная специалистами ДНУЖТ. Для практического применения модели на основе натуральных данных была выполнена ее идентификация и оценка адекватности с использованием критерия Уилкоксона.

7. Практическое применение разработанной модели при выборе оптимальной дисциплины обслуживания поездов показало ее достаточно высокую эффективность. Эксперименты с моделью, а также последующие технико-экономические расчеты показали, что применение предложенной методики позволит сократить время нахождения вагонов в подсистеме расформирования-накопления и привести к экономии до 3...8 тыс. грн. в сутки.

8. С помощью имитационной модели методами планирования экспериментов был выполнен анализ значимости различных факторов, влияющих на простой вагонов на станции Жмеринка. Результаты исследований показали, что на показатели простоя транзитного вагона с переработкой и без переработки на сортировочной станции более всего влияет обеспеченность готовых к отправлению составов поездными локомотивами.

9. Рациональное планирование составаобразования, в т.ч. с учетом обеспеченности поездными локомотивами, позволит существенно сократить непроизводительные простои вагонов и поездов на сортировочных станциях. Сокращение простоев и повышение скорости продвижения вагонопотоков в МТК позволит повысить привлекательность украинских железных дорог для грузопотоков и эффективность использования транзитного потенциала транспортной системы Украины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственная служба статистики Украины. Официальный сайт. Статистическая информация. Транспорт [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Транспорт и связь Украины. Статистический сборник. – Киев : Государственная служба статистики Украины. – 2019– 115 с.
3. Национальная транспортная стратегия Украины на период до 2030 года (Проект) [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://mtu.gov.ua/news/28581.htm>
4. Стратегия развития АТ «Укрзалізниця» 2017-2021 годы [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.uz.gov.ua/about/documents/strategiya/>
5. Довідник основних показників роботи залізниць України (1992-2002).– Київ : Укрзалізниця, 2003. – 40 с.
6. Рослик, И. Почему кастет время оборота вагонов УЗ / И. Рослик [Электрон. ресурс] – Режим доступа: https://biz.censor.net.ua/resonance/3146735/pochemu_rastet_vremya_oborota_vagonov_uz
7. Вернигора Р. В. Анализ простоев поездов в ожидании поездных локомотивов на сортировочных станциях / Р. В. Вернигора, Л. О. Ельникова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 5/3 (59). – С. 16–19.
8. Бутько Т. В. Удосконалення управління процесом просування поїздопотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону / Т. В. Бутько, О. В. Лаврухін, Ю. В. Доценко // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2010. – Вип. 22. – С. 18–26.
9. Марценюк Л. В. Факторний аналіз обігу вантажних вагонів / Л. В. Марценюк // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури. Зб. наук. праць НАУ. – 2012. – Вип. 33. – С. 141–147.
10. Вернигора, Р.В. Проблеми функціонування залізничних під'їзних колій України у сучасних умовах / Р.В. Вернигора // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №4/3 (58). – с. 64-68.
11. Березовий М.І. Аналіз технічного забезпечення сортувальних станцій України / М. І. Березовий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Вип. 6/3 (42). – С. 60-66.

12. Малашкін В.В. Аналіз технічного стану приймально-відправних парків сортувальних станцій України / В.В. Малашкін // Восточно-Европ. журнал передових технологій. – 2011. – Вип 6/3 (54). – С. 55-59.

13. Бардась О.О., Мазуренко О. О., Кудряшов А. В. Удосконалення технології обробки транзитних вагонопотоків на технічних станціях. Монографія. – Дніпро: Вид-во ПФ «Стандарт - Сервіс», 2017. – 152 с.

14. Фролов, А. Н. Общие соображения о простое вагонов на сортировочных станциях / А. Н. Фролов // XX Совещательный съезд инженеров службы пути русских железных дорог 1902 г. Протоколы заседаний и труды. – 1903. – С. 157-165.

15. Васильев, И. И. Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок / И. И. Васильев. – М.: Трансжелдориздат, 1941. – 321 с.

16. Бернгард, К. А. Групповые поезда: труды ЦНИИ МПС [Текст] / К. А. Бернгард. – М.: Трансжелдориздат, 1953. – Вып. 76. – 167 с.

17. Бернгард, К. А. Сборник примеров по маневровой работе [Текст] / К. А. Бернгард. – М.: Трансжелдориздат, 1941. – 140 с.

18. Петров, А. П. Исследование времени накопления вагонов при формировании поездов на технических станциях / А. П. Петров // Вопросы эксплуатации железных дорог: труды Москов. ин-т. инж. тр-та. – 1949. – Вып. 72. – С. 19-51.

19. Петров, А. П. План формирования поездов / А. П. Петров. – М.: Трансжелдориздат, 1950. – 483 с.

20. Сотников, Е. А. Определение простоя вагонов под накоплением / Е. А. Сотников // Вопросы эксплуатации железных дорог: труды Ленинград. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1962. – Вып. 189. – С. 114-139.

21. Акулиничев, В. М. Организация вагонопотоков и маршрутизация перевозок / В. М. Акулиничев, О. С. Кирьянова, Н. Е. Боровой. – М.: Транспорт, 1970. – 320 с.

22. Грунтов, П. С. Ускорение процесса накопления вагонов на сортировочных станциях при неравномерном поступлении поездов в расформирова-

ние / П. С. Грунтов // Труды Белор. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1966. – Вып. 44-6д. – С. 24-30.

23. Тихомиров, И. Г. Основы технологии работы участковых и сортировочных станций / И. Г. Тихомиров. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 184 с.

24. Тихомиров, И. Г. Основы технологического процесса работы сортировочных станций – М.: Трансжелдориздат, 1952. – 216 с.

25. Плугач, Б. А. Передовые методы расформирования и формирования поездов / под ред. Б. А. Плугача. – М.: Трансжелдориздат, 1954. – 110 с.

26. Забелло М.Л. Маневровая работа на железных дорогах. Вопросы теории и методика выбора маневровых средств. Труды ВНИИЖТа, Вып. 160. М.: Трансжелдориздат. 1958. – 158 с.

27. Ряшко, Б. В. Совершенствование эксплуатационной работы. (Опыт Пермского отделения) / Б. В. Ряшко, Г. Г. Трегубов, И. В. Харланович. – М.: Транспорт, 1971. – 96 с.

28. Скумбин, М. К. Научная организация труда у пермских железнодорожников / М. К. Скумбин. – Пермь: Пермское книжное издательство, 1969. – 148 с.

29. Иловайский, Н. Д. Расчеты плана отправления поездов с сортировочной станции на ЭЦВМ. Совершенствование методов эксплуатационной работы железных дорог / Н. Д. Иловайский. – Свердловск, 1964. – 241 с.

30. Иловайский, Н. Д. Расчет поездообразования на сортировочных станциях с обеспечением минимального простоя вагонов. Управление перевозочным процессом с применением электронных машин / под ред. проф. Л. П. Петрова. – М.: Трансжелдориздат, – 1963. – С. 137-152.

31. Грунтов, П. С. Исследование технологии сортировочных станций методом сетевого моделирования / П. С. Грунтов, Ф. П. Пищик // Труды Белор. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1970. – Вып. 78. – С. 162-75.

32. Конарев, Н. С. Сетевое планирование и управление поездообразованием / Н. С. Конарев, А. И. Шутов, Н. Д. Иловайский // Железнодорожный транспорт. – 1967. – № 8. – С. 43-46.

33. Иловайский, Н. Д. Управление поездообразованием по сетевому графику / Н. Д. Иловайский // Вопросы эксплуатации жел. дорог: труды Харьк. ин-т. инж. жел.-дор. – 1970. – Вып. 114. – С. 15-24.

34. Годович, Ю. И. Научная эксплуатация работы железных дорог / под ред. Ю. И. Годовича. – М.: Транспорт, 1976. – 208 с.

35. Москалев, П. И. Методика оптимизации технологии работы сортировочной станции / П. И. Москалев, П. Р. Потапов // Труды Новосибирского ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1971. – Вып. 131. – С. 50-62.

36. Буянов, В. А. Автоматизированные информационные системы на железнодорожном транспорте / В. А. Буянов, Г. С. Ратин. – М.: Транспорт, 1984. – 240 с.

37. Тулупов, Л. П. Текущее планирование поездной работы технических станций / Л. П. Тулупов, Ян Юйлиан // Железнодорожный транспорт. – 1997. – № 6. – С. 28-31.

38. Тулупов, Л. П. Автоматизированные системы управления перевозочными процессами на железных дорогах / Л. П. Тулупов, Е. М. Жуковский, А. М. Гусятинер. – М.: Транспорт, 1991. – 208 с.

39. Сотников, Е. А. Закономерности составаобразования на сортировочных станциях / Е. А. Сотников // Вестник Всероссийск. науч.-исслед. ин-т. жел.-дор. тр-та. – 1968. – № 6. – С. 27-29.

40. Иванков, Н. М. Исследование процесса накопления составов с помощью ЭЦВМ / Н. М. Иванков // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: труды Днепропетр. ин-т. инж. тр-та. – 1969. – Вып. 90/6. – С. 90-96.

41. Быкадоров, А. В. Исследование процесса поездообразования в сортировочном парке / А. В. Быкадоров, А. М. Макуха, П. Р. Потапов // Труды Новосибирского ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1971. – Вып. 131. – С. 3-18.

42. Бодюл, В. И. Исследование времени накопления состава [Текст] / В. И. Бодюл // Оптимальная эксплуатация железных дорог: труды Моск. ин-т. инж. тр-та. – 1973. – Вып. 420. – С. 82-93.

43. Бодюл, В. И. Исследование некоторых вопросов взаимодействия элементов сортировочного комплекса станций [Текст] / В. И. Бодюл // Труды Моск. ин-т. инж. тр-та. – 1971. – Вып. 362, – С. 95-99.

44. Лебедева, Т. Н. Расчет времени нахождения вагонов на сортировочных и участковых станциях: труды ЦНИИ МПС [Текст] / под ред. Т. Н. Лебедевой // М.: Транспорт, 1973. – Вып. 481. – 184 с.

45. Повышение эффективности использования технических средств на железнодорожных станциях: Сб. науч. тр./ ВНИИ железнодорожного транспорта. Под ред. Е. В. Архангельского. - М.: Транспорт. 1986.-160 с.

46. Механизация и автоматизация формирования поездов/ Ю. А. Муха. В. А. Король. Н. М. Иванков и др.: Под ред. Ю. А. Мухи. - К.: Техника, 1987. - 136 с.

47. Окунь, А. Г. Организация вагонопотоков в поезда, расформируемые в режиме параллельного роспуска / А. Г. Окунь // Совершенствование технологии перевозок и увеличение пропускной способности железных дорог: межвуз. сб. науч. труд. Моск. ин-т. инж. тр-та. –1983. – Вып. 736. – С. 23-25.

48. Лерман, В. Д. Совершенствование оперативного управления работой сортировочных станций / В. Д. Лерман. – М.: Транспорт, 1982. – 40 с.

49. Решение оптимизационных задач в АСУ технологическими процессами сортировочной станции: Сб. науч. тр. /ВНИИ ж. д. транспорта. Под ред. Л. Г. Аверьянова. Б. А. Игнатова. - М.: Транспорт. 1990.- 107 с.

50. Гершвальд, А. С. Автоматизация управления сортировочной работой станции / А. С. Гершвальд // Приборы и системы управления. – 1986. – № 12. – С. 6-7.

51. Гершвальд, А. С. Оптимизация оперативного управления процессом грузовых перевозок на железнодорожном транспорте / А. С. Гершвальд. – М.: Интекст, 2001. – 240 с.

52. Гершвальд, А. С. Автоматизация функций станционного диспетчера / А. С. Гершвальд // Интенсификация перевозок грузов на железнодорожном

транспорте: сб. науч. тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т. жел.-дор. тр-та. – 1989. – С. 77-88.

53. Гершвальд, А. С. Алгоритм оптимального порейсового планирования поездных и маневровых маршрутов в парках станции / А. С. Гершвальд, А. Г. Спокойный, О. В. Закопаева // Вопросы совершенствования управления эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте: межвуз. сб. науч. труд. Моск. ин-т. инж. тр-та. – 1985. – Вып. 770. – С. 70-71.

54. Левин, Д. Ю. Как повысить эффективность работы дорожных диспетчеров / Д. Ю. Левин // Железнодорожный тр-рт. – 2006. – № 10. – С. 12-16.

55. Левин, Д. Ю. Современные принципы и технология оперативного управления поездной работой [Текст] / Д. Ю. Левин // Железнодорожный транспорт. – 2004. – № 4. – С. 27-33.

56. Харитонов, А. В. Планирование поездообразования на полигоне / А. В. Харитонов // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 7. – С. 17-22.

57. Бородин, А. Ф. "Полигон" - новая автоматизированная система текущего планирования / А. Ф. Бородин, А. В. Харитонов, Е. В. Прилепин // Железнодорожный транспорт. – 2002. – № 4. – С. 10-16.

58. Борознов, В. О. Построение модели для задачи о порядке роспуска составов на сортировочной железнодорожной станции / В. О. Борознов // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2007. – № 6. – С. 178-182.

59. Курейчик, В. М. Применение генетических алгоритмов для решения комбинаторно-логических задач оптимизации / В. М. Курейчик // Интеллектуальные САПР: Междуведом. темат. науч. сб. – 1995. – Вып. 5. – С. 132-133.

60. Александров, А. Э. Автоматизированная система прогнозирования поездообразования на сортировочной станции / А. Э. Александров, В. Ю. Пермикин, С. С. Шавзис // Информационные технологии на железнодорожном транспорте: Междунар. конф. ИНФОТРАНС-2001. – 2001. – С. 5-6.

61. Шавзис, С. С. Автоматизация расчета поездообразования на сортировочных станциях: дис. на соискание ученой степени к.т.н. / С. С. Шавзис. – Екатеринбург: УрГУПС МПС РФ, 2003. – 157 с.

62. Козлов, П. А. Моделирование железнодорожных станций с помощью системы ИСТРА: УрГУПС / под ред. П. А. Козлова. – Екатеринбург, 2000. – 41 с.
63. Ломотько, Д. В. Метод оцінки та відбору нечіткої інформації при формуванні систем підтримки прийняття рішень у підрозділах залізницях / Д. В. Ломотько // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №2. – С.3-9.
64. Луханін, М. І. Удосконалена модель підсистеми розформування поїздів на сортувальній станції / М. І. Луханін, В. С. Селецький // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000. – № 6. – С. 71-74.
65. Ветухов Е.А., Аветикян М. А. Комплексные методы сокращения простоя вагонов. – М.: Транспорт, 1986. – 206 с.
66. Першин Б.Ф., Рускин С. Д. Расформирование-формирование поездов. – М.: Транспорт, 1973. – 208 с.
67. Мазуренко О.О. Визначення ефекту від оперативного формування двогрупних поїздів на базі одnogрупних призначень / О.О. Мазуренко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №6/3(54). – С.23-28.
68. Повороженко В.В., Орлова И.А. Повышение производительности грузового вагона. – М.: Транспорт, 1979. – 215 с.
69. Шабалин Н.Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях. – М.: Транспорт, 1973. – 184 с.
70. Підвищення ефективності оперативного керування локомотивним парком залізниць України: монографія / Д.М. Козаченко, Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова, М. І. Березовий – Дніпро: «Герда», 2017 – 164 с.
71. Левин, Д. Ю. Составообразование. Метод планирования и управления / Д. Ю. Левин, В. Л. Павлов // Железнодорожный транспорт. – 2001. – № 3. – С. 53-55.

72. Вернигора Р.В., Пугач О.В. Дослідження процесів составоутворення на сортувальних станціях методами імітаційного моделювання // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №6/4. – с. 52-55.

73. Ветухов Е.А., Сотников Е.А. Определение уровня загрузки станций методом моделирования их работы на ЭЦВМ //Железнодорожный транспорт. – 1969. – №7.– с.34-37.

74. Шабалин Н.Н. Моделирование процессов массового обслуживания на станциях. // Железнодорожный транспорт. - 1971. - №5. - с. 64 – 65.

75. Персианов В.А., Скалов К.Ю., Усков Н.С. Моделирование транспортных систем. – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.

76. Таль К.К. Основные вопросы применения методов моделирования при проектировании станции и узлов. // Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 47. - М.: ЦНИИС - 1971. - с. 56 - 96.

77. Таль К.К. О классификации методов моделирования, используемых для расчета станций и узлов. // Вопросы проектирования и расчета железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 90. - М.: ЦНИИС, 1976. - с. 74 - 90.

78. Пилипченко П. А. Структурное моделирование работы сортировочной станции // Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог: Сб. научн. тр. - Вып. 497. - М.: МИИТ. - 1975. - с. 60 - 61.

79. Быкадоров А.В. Парк приема сортировочной станции как двухфазная система массового обслуживания. //Сб. трудов НИИЖТа. – 1973. - №146. с.63-80.

80. Лещинский Е.И. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт, 1977. - 176 с.

81. Тютюнов Ю. П. Исследование технологии работы железнодорожных узлов методом имитационного моделирования: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.08/ БелГУТ. - Гомель, 1995. - 16 с.

82. Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций. - М.: Транспорт, 1979. - 239 с.

83. Козлов И. Т. Пропускная способность транспортных систем. - М.: Транспорт, 1985. - 214 с.

84. Козлов П.А. Универсальная имитационная система транспорта ИС-ТРА. // Межвуз. сборник «Организация работы транспорта промышленных предприятий». Калинин.: Изд-во КГУ, 1984. - С. 41-53

85. Мкртычян Д.И., Долбня К.П. Моделирование и оптимизация режима работы сортировочной станции с транзитными вагонами без переработки // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – №6/2 (30) – с. 51-54.

86. Загарий Г. И., Федюшин Ю. М. Моделирование процесса перевозок на железных дорогах Украины с помощью расширенных сетей Петри // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - № 4. - с. 52 - 56.

87. Нагорный Е. В., Алешинский Е. С. Моделирование функционирования комплекса “Сортировочная станция - прилегающие участки ” с помощью сетей Петри // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2000. - № 2. - с. 98 - 103.

88. Луханін М.І., Селецький В.С. Удосконалена модель підсистеми розформування поїздів на сортувальній станції. // Инф.-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2000. - №8. - с. 71-74.

89. Сукач Е.И. Стенд имитационного моделирования сортировочной станции железнодорожной сети //Проблеми програмування – 2009. – №3 – с.81-89.

90. Рахмангулов А.Н., Мишкурлов П.Н. Особенности построения имитационной модели технологии работы железнодорожной станции в системе Anylogic // Сборник научных трудов SWorld. Матер. междунаучно-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании – 2012». – Одесса: Куприенко – Вып. 4., Том 2 – 2012. – с. 7-13.

91. Ходаківський О. М. Дослідження роботи південної та північної сорту-

вальных систем станції Основа на основі сучасних програмних засобів / О. М. Ходаківський, Д. В. Шумик, С. Д. Бронза, К. С. Кирпиченко // Інформаційно-керуючі системи на транспорті. – 2010. – № 5/6. – С. 18–23.

92. Запара Я. В. Імітаційна модель технології роботи залізничного вузла / Я. В. Запара, Є. В. Запара // Інформаційно-керуючі системи на транспорті. – 2012. – № 2. – С. 79–86.

93. Функциональное моделирование работы железнодорожных станций : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин; Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2015. – 244 с.

94. Пасічник, А. М. Аналіз та оцінка ефективності використання транзитного потенціалу української транспортної системи / А. М. Пасічник, О. М. Клен, С. В. Мірошніченко // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2016. – № 12 – С. 88-97

95. Веприцький, Р. С. аналіз та оцінка обсягів транзитних перевезень залізничним транспортом України / Р. С. Веприцький, Г. Д. Ейтутіс, С. В. Артем'єва // Вісник економіки транспорту і промисловості – Харків: УкрДУЗТ, № 62, 2018. – с. 53-63.

96. The Logistics Performance Index and Its Indicators. The World Bank: The International Bank for Reconstruction and Development, 2018 – p. 76

97. Kozachenko, D., Vernigora, R., Rustamov, R. Creation of export-oriented network of grain elevators in Ukraine/ D. Kozachenko, R. Vernigora, R. Rustamov // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ, – Дніпро: ДНУЗТ. – 2017. – №2 (68) – С. 56-70.

98. Володин, А.В. Международные транспортные коридоры и национальная безопасность Украины / А. В. Володин// [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.uastrana.ua/searchautor.php?search=Володин%20>.

99. Кірпа Г.М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: Монографія. – Д.: ДНУЗТ, Арт-Прес, – 2003, – 268с.

100. Програма створення та функціонування національної мережі між-

народних транспортних коридорів в Україні /Постанова КМУ від 20.03.1998 №346. – К., 1998.

101. Технологічний процес станції Жмеринка. – Південно-Західна залізниця. Жмеринка – 2016. – 169 с.

102. Техніко-розпорядчий акт станції Жмеринка. Південно-Західна залізниця. Жмеринка – 2018. – 246 с.

103. Журавель, В. В. Точність гальмування, кількість вагонів у відцепі та показники роботи сортувальної гірки / В. В. Журавель // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 28. – С.133-136.

104. Бодюл В. И. Повышение ритмичности и эффективности транспортного производства на основе снижения внутрисуточной неравномерности грузовых перевозок на железных дорогах : дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Бодюл. – Москва, 2006. – 318 с.

105. Правдин Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыкандюк, В. Я. Негрей. – Москва : Транспорт, 1987. – 247 с.

106. Сотников Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков / Е. А. Сотников, К. П. Шенфельд // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 5. – С. 3–9.

107. Вернигора Р. В. Аналіз нерівномірності відправлення поїздів з технічних станцій на залізничному напрямку / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 3/3 (63). – С. 63–66.

108. Леман Э. Проверка статистических гипотез / Э. Леман. – Москва : Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит-ры, 1979. – 408 с.

109. Єльнікова Л. О. Дослідження тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку /Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – Вип. 8. – С. 35–39.

110. Вернигора Р. В. Структура та принципи функціонування прогнозової моделі роботи залізничного напрямку / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.

Транспортні системи та технології перевезень. – 2015. – Вип. 9. – С. 16–22.

111. Яновський П. О. Встановлення впливу різних факторів на час знаходження поїздів на залізницях і визначення його тривалості в умовах функціонування автоматизованої системи моделювання та аналізу / П. О. Яновський // Інформаційно-керуючі системи на транспорті. – 2008. – № 1. – С. 3–9.

112. Вернигора Р. В. Можливості використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні поїзної роботи залізничних нарядків / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – Вип. 7. – С. 15–19.

113. Лаврухин А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы / А. В. Лаврухин // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 1 (55). – С. 43–53.

114. Вернигора Р. В. Дослідження ефективності використання нейронних мереж при прогнозуванні прибуття поїздів на технічні станції / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3/3 (75). – С. 23–27.

115. Бодянский Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения : монографія / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков : Телетех, 2004. – 369 с.

116. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 283 с.

117. Мельник С.В. Влияние транспорта на окружающую среду. – М.: Транспорт, 1998. – 314с.

118. Запорожець О.І. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвеева, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд. – К. : «Центр учбової літератури», 2017. – 508 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
СХЕМА СТАНЦИИ ЖМЕРИНКА



Рисунок А.1 – Схема станції Жмеринка

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

АНАЛИЗ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПО

УЧАСТКАМ НАПРАВЛЕНИЯ

Таблица Б.1 – Параметры распределения случайной величины продолжительности движения поездов на участках в зависимости от периода суток их отправления

Участок	Период суток	Математическое ожидание $M[t]$, час.	Среднее квадратическое отклонение σ , час	Минимальное значение, год	Максимальное значение, год
Казатин-1 – Жмеринка	0-3	3,22	0,54	2,20	5,34
	3-6	3,34	0,67	1,94	5,04
	6-9	3,33	0,60	2,26	5,36
	9-12	3,41	0,57	2,26	5,34
	12-15	3,31	0,55	2,54	5,29
	15-18	3,57	0,55	2,59	5,01
	18-21	3,51	0,58	2,43	5,17
	21-24	3,61	0,62	2,04	5,26
Жмерника – Казатин-1	0-3	3,67	0,78	2,26	6,14
	3-6	3,67	0,74	2,52	6,06
	6-9	3,42	0,70	1,86	5,82
	9-12	3,48	0,78	2,35	6,40
	12-15	3,67	0,92	2,18	6,38
	15-18	3,61	0,91	1,46	6,79
	18-21	3,34	0,68	1,97	5,60
	21-24	3,36	0,84	2,26	5,82
Вапнярка – Жмеринка	0-3	1,67	0,47	1,37	3,58
	3-6	1,76	0,50	1,38	3,11
	6-9	1,88	0,53	1,37	3,06
	9-12	1,75	0,56	1,29	3,45
	12-15	1,69	0,36	1,37	2,71
	15-18	1,84	0,53	1,37	3,33
	18-21	1,75	0,53	1,34	3,63
	21-24	1,69	0,38	1,29	3,18
Жмеринка – Вапнярка	0-3	1,73	0,43	1,37	3,70
	3-6	1,89	0,47	1,52	3,58
	6-9	2,03	0,52	1,52	3,70
	9-12	1,86	0,41	1,52	3,23
	12-15	1,66	0,28	1,52	2,49
	15-18	1,94	0,41	1,49	3,23
	18-21	2,06	0,58	1,52	3,36
	21-24	2,03	0,53	1,32	3,58

Таблица Б.2 – Параметры распределения случайной величины продолжительности движения поездов на участках в зависимости от дня недели

Участок	День недели	Математическое ожидание $M[t]$, час.	Среднее квадратическое отклонение σ , час	Минимальное значение, час	Максимальное значение, час
Казатин-1– Жмеринка	понедельник	3,50	0,60	2,37	5,28
	вторник	3,42	0,62	2,16	5,14
	среда	3,45	0,60	2,24	5,09
	четверг	3,44	0,59	2,47	5,31
	пятница	3,30	0,55	2,24	5,28
	суббота	3,30	0,58	2,08	5,23
	воскресенье	3,18	0,55	1,92	5,23
Жмеринка – Казатин-1	понедельник	3,56	0,83	2,24	6,48
	вторник	3,49	0,74	1,84	6,32
	среда	3,61	0,84	1,95	6,00
	четверг	3,58	0,88	1,44	6,72
	пятница	3,48	0,84	2,24	6,34
	суббота	3,42	0,72	2,16	5,76
	воскресенье	3,37	0,74	2,14	6,02
Вапнярка – Жмеринка	понедельник	1,71	0,53	1,33	3,60
	вторник	1,75	0,51	0,88	3,43
	среда	1,68	0,40	0,96	2,84
	четверг	1,91	0,60	1,25	3,56
	пятница	1,72	0,49	0,99	3,09
	суббота	1,63	0,35	1,33	3,04
	воскресенье	1,78	0,47	1,25	2,94
Жмеринка – Вапнярка	понедельник	2,07	0,66	1,47	3,68
	вторник	1,87	0,40	1,33	2,60
	среда	1,81	0,54	1,33	3,68
	четверг	1,93	0,43	1,49	3,31
	пятница	1,79	0,35	1,47	2,72
	суббота	1,96	0,51	1,28	3,56
	воскресенье	1,78	0,34	1,47	2,82

Таблица Б.3 – Параметры распределения случайной величины продолжительности движения поездов на участках в зависимости от массы поезда

Участок	Месяц	Интервал массы	Математическое ожидание $M[\tau]$, час	Среднее квадратическое отклонение σ , час	Минимальное значение, час	Максимальное значение, час	Месяц	Интервал массы	Математическое ожидание $M[\tau]$, час	Среднее квадратическое отклонение σ , час	Минимальное значение, час	Максимальное значение, час
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Казатин-1 – Жмеринка	январь	0-1500	3,19	0,68	2,28	5,22	июль	0-1500	3,19	0,52	1,98	4,62
		1500-2000	3,79	0,84	2,65	4,46		1500-2000	3,50	0,56	2,92	4,04
		2000-2500	3,03	0,38	2,38	3,97		2000-2500	3,42	0,48	2,72	4,04
		2500-3000	3,28	0,55	2,55	4,29		2500-3000	3,31	0,59	2,67	4,78
		3000-3500	3,32	0,60	2,52	5,13		3000-3500	3,27	0,52	2,49	4,53
		3500-4000	3,37	0,62	2,52	5,10		3500-4000	3,44	0,81	2,49	5,12
		4000-4500	4,10	1,04	2,45	5,42		4000-4500	3,45	0,47	2,79	4,95
		4500-5000	-	-	-	-		4500-5000	3,56	0,54	2,72	5,45
		5000-5500	-	-	-	-		5000-5500	3,65	0,48	2,94	4,46
		5500-6500	-	-	-	-		5500-6500	3,21	0,37	2,94	4,04
	апрель	0-1500	3,50	0,70	2,21	5,39	октябрь	0-1500	3,07	0,63	2,31	4,26
		1500-2000	3,27	0,51	2,48	3,84		1500-2000	3,34	0,53	2,55	4,38
		2000-2500	3,92	-	3,92	3,92		2000-2500	3,70	0,84	2,97	4,70
		2500-3000	3,28	0,24	3,02	3,51		2500-3000	3,25	0,58	2,67	3,84
		3000-3500	-	-	-	-		3000-3500	3,34	0,50	2,79	4,46
		3500-4000	3,43	0,56	2,84	4,10		3500-4000	3,21	0,61	2,55	4,08
		4000-4500	3,68	0,66	2,72	4,98		4000-4500	3,35	0,57	2,59	4,53
		4500-5000	3,68	0,59	2,52	5,07		4500-5000	3,47	0,50	2,57	5,13
		5000-5500	3,64	0,74	2,22	5,34		5000-5500	3,48	0,56	2,65	4,52
		5500-6500	3,41	0,56	2,82	4,58		5500-6500	2,89	-	2,89	2,89
Жмеринка – Казатин-1	январь	0-1500	3,30	0,53	2,53	4,33	июль	0-1500	3,64	0,82	2,06	5,77
		1500-2000	3,22	0,58	2,53	4,98		1500-2000	3,57	0,69	2,65	6,21
		2000-2500	3,94	0,91	2,72	6,62		2000-2500	3,47	0,74	2,55	5,66
		2500-3000	3,36	0,56	2,37	4,51		2500-3000	3,40	0,56	2,40	4,55
		3000-3500	3,68	0,61	3,04	4,49		3000-3500	3,47	0,82	2,31	5,52

Продолжение таблицы Б.3

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Жмеринка – Казатин-1	январь	3500-4000	3,25	0,54	2,52	4,25	июль	3500-4000	3,57	0,79	2,40	5,22			
		4000-4500	3,77	0,94	2,99	5,09		4000-4500	3,20	0,49	2,31	3,79			
		4500-5000	3,20	0,51	2,44	4,44		4500-5000	3,55	0,53	2,64	4,72			
		5000-5500	-	-	-	-		5000-5500	3,88	0,92	2,40	6,12			
		5500-6500	-	-	-	-		5500-6500	3,72	0,61	3,07	4,53			
	апрель	0-1500	3,82	0,71	2,43	5,26	октябрь	0-1500	3,21	0,73	2,38	6,04			
		1500-2000	3,90	0,84	2,59	6,40		1500-2000	3,59	0,89	2,48	5,52			
		2000-2500	3,80	0,88	2,67	5,74		2000-2500	3,26	0,58	2,55	5,03			
		2500-3000	3,89	1,02	2,50	6,16		2500-3000	3,48	0,93	2,40	6,19			
		3000-3500	3,76	0,96	2,35	6,79		3000-3500	3,67	0,69	2,72	4,63			
		3500-4000	3,73	0,76	2,75	5,99		3500-4000	3,52	0,65	2,64	4,70			
		4000-4500	4,22	1,13	2,91	6,06		4000-4500	3,43	0,63	2,64	4,47			
		4500-5000	3,77	0,94	2,99	5,09		4500-5000	3,78	0,91	2,48	5,94			
		5000-5500	3,90	0,90	2,70	6,55		5000-5500	3,90	0,77	2,89	4,87			
		5500-6500	4,23	1,17	2,59	6,38		5500-6500	2,89	-	2,89	2,89			
		Вапнярка – Жмеринка	январь	0-1500	1,64	0,35		1,33	3,26	июль	0-1500	1,49	0,29	1,26	2,01
				1500-2000	1,95	0,51		1,55	3,26		1500-2000	1,92	0,53	1,38	2,76
				2000-2500	1,82	0,51		1,47	3,10		2000-2500	2,08	0,69	1,57	3,40
				2500-3000	1,85	0,47		1,47	2,99		2500-3000	1,95	0,47	1,46	3,02
3000-3500	1,86			0,53	1,47	2,71	3000-3500	1,77	0,39		1,43	2,39			
3500-4000	1,64			0,36	1,25	2,64	3500-4000	1,90	0,54		1,46	2,91			
4000-4500	1,50			0,33	1,50	1,50	4000-4500	1,83	0,44		1,49	2,39			
4500-5000	1,65			0,38	1,28	3,15	4500-5000	1,89	0,33		1,41	2,57			
5000-5500	1,73			0,45	1,43	2,78	5000-5500	1,48	0,27		1,38	1,81			
5500-6500	-			-	-	-	5500-6500	-	-		-	-			
апрель	0-1500			1,65	0,35	1,33	3,26	октябрь	0-1500		1,92	0,68	1,26	3,70	
	1500-2000			1,92	0,51	1,55	3,26		1500-2000		2,05	0,62	1,49	2,87	
	2000-2500		1,88	0,51	1,47	3,10	2000-2500		1,63	0,54	0,97	2,84			
	2500-3000		1,76	0,47	1,47	2,99	2500-3000		2,05	0,62	1,62	3,25			
	3000-3500		1,88	0,53	1,47	2,71	3000-3500		2,07	0,47	1,41	3,02			
	3500-4000		1,62	0,36	1,25	2,64	3500-4000		1,92	0,36	1,46	2,61			
	4000-4500		1,58	0,33	1,60	1,55	4000-4500		1,48	0,14	1,34	1,63			
4500-5000	1,73		0,38	1,36	3,26	4500-5000	-	-	-	-					
5000-5500	1,82		0,45	1,52	2,87	5000-5500	2,46	0,94	1,91	3,13					
5500-6500	1,77	0,23	1,47	3,10	5500-6500	1,77	-	1,90	1,77						

Продолжение таблицы Б.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Жмеринка – Вапнярка	январь	0-1500	2,20	0,76	1,47	3,29	ИЮЛЬ	0-1500	1,78	0,18	1,48	2,01
		1500-2000	1,69	0,23	1,47	2,14		1500-2000	1,77	0,00	1,88	1,77
		2000-2500	-	-	-	-		2000-2500	2,33	0,85	1,88	3,78
		2500-3000	2,04	0,62	1,55	3,78		2500-3000	2,01	0,72	1,61	3,65
		3000-3500	2,34	0,53	1,73	2,90		3000-3500	2,20	1,00	1,48	3,65
		3500-4000	2,25	0,51	2,00	3,17		3500-4000	1,90	0,60	1,48	3,65
		4000-4500	1,83	0,32	1,60	2,27		4000-4500	2,20	0,76	1,48	3,29
		4500-5000	1,93	0,33	1,92	2,72		4500-5000	2,34	0,53	1,74	2,90
		5000-5500	-	-	-	-		5000-5500	-	-	-	-
		5500-6500	-	-	-	-		5500-6500	-	-	-	-
	апрель	0-1500	2,08	0,45	1,73	3,17	ОКтябрь	0-1500	1,90	0,69	1,29	3,43
		1500-2000	1,83	0,32	1,60	2,27		1500-2000	1,69	0,23	1,48	2,14
		2000-2500	1,80	0,27	1,60	2,04		2000-2500	1,71	0,27	1,48	2,04
		2500-3000	2,14	0,00	2,27	2,14		2500-3000	1,78	0,24	1,56	2,04
		3000-3500	1,69	0,15	1,60	1,89		3000-3500	1,68	0,20	1,45	2,01
		3500-4000	2,25	0,51	2,00	3,17		3500-4000	2,04	0,51	1,61	3,05
		4000-4500	1,98	0,38	1,60	2,54		4000-4500	1,71	0,33	1,48	2,52
		4500-5000	2,02	0,42	1,73	2,54		4500-5000	2,10	0,42	1,61	3,02
		5000-5500	-	-	-	-		5000-5500	2,04	0,62	1,56	3,78
		5500-6500	-	-	-	-		5500-6500	2,11	0,89	1,48	3,40

ПРИЛОЖЕНИЕ В

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СТАНЦИИ

В.1. Фрагмент файла результатов моделирования

Показатели работы приёмо-отправочного парка станции:

Количество прибывших транзитных поездов без переработки: 18	Средний простой состава в приёмо-отправочном парке:
Количество прибывших пассажирских поездов: 37	- в ожидании технического осмотра: 9.8 мин
Количество поступивших поездов своего формирования: 14	- под техническим осмотром: 34.4 мин
	- в ожидании поездного локомотива: 39.9 мин
	- общий простой состава в парке: 84.1 мин

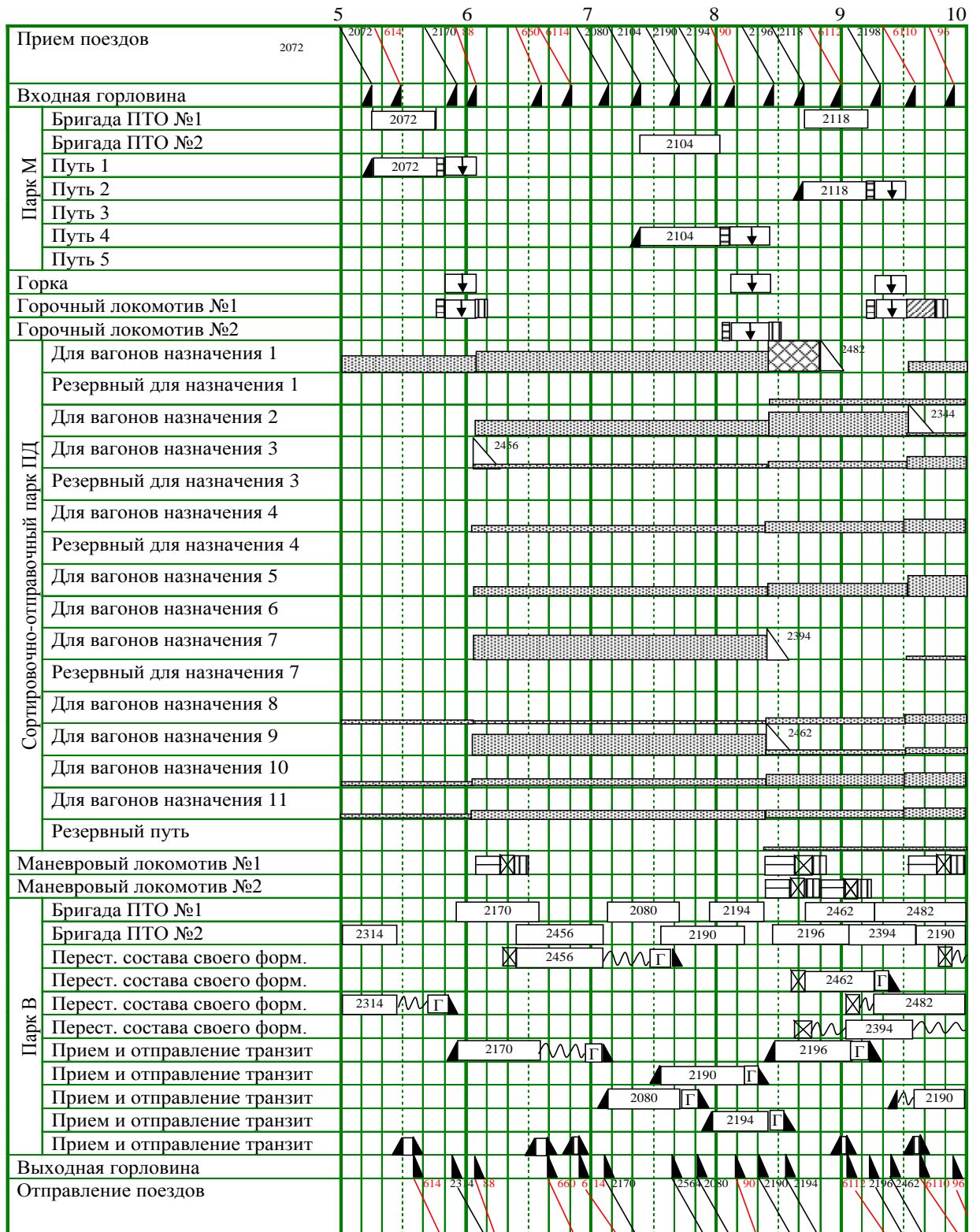
	1п	2	3	4	5	6	7	8	9п
Коэффициенты загрузки путей парка:	0.03	0.35	0.21	0.23	0.36	0.28	0.37	0.29	0.02
	1	2							
Коэффициенты загрузки бригад ПТО парка:	0.39	0.37							
Коэффициент загрузки маневрового локомотива:	0.22								

Расписание прибытия и отправления поездов:

№	к	т	приб, ч-м	I, мин	п	к	В, ч-м	F, ч-м	№бр ПТО	W, мин	P1, мин	P2, мин	L, мин	U, ч-м	Q, мин	отпр, ч-м
1	р	-	0-20	0.0	1	1	0-20	0-51	1	0.0	20.0	20.0	15.0	1-6	46.3	-
2	р	-	0-36	16.3	1	2	0-36	1-12	2	0.0	0.0	36.3	17.0	1-29	52.7	-
3	р	-	0-51	15.3	1	3	0-51	1-27	1	0.0	0.3	0.0	17.0	1-51	59.4	-
4	т	б	1-16	22.2	3	1	1-16	1-54	1	0.0	76.8	76.8	-	-	42.3	1-59
5	п	п	1-37	20.8	3	9	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	1-39
6	р	-	1-52	17.6	1	4	1-52	2-30	2	0.0	24.5	40.2	15.0	2-45	53.7	-
7	т	с	2-16	21.5	3	2	2-16	2-53	2	0.0	22.6	136.8	-	-	73.0	3-29
8	п	м	2-37	21.2	3	9	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	2-42
9	т	б	2-51	13.5	3	3	2-51	3-23	1	0.0	57.3	0.0	-	-	50.3	3-41
10	р	-	3-7	19.1	1	5	3-7	3-33	1	0.0	99.7	36.6	15.0	3-48	40.7	-
11	р	-	3-20	13.2	1	1	3-20	4-1	2	0.0	0.0	49.8	15.0	4-16	55.7	-
12	т	б	3-41	17.8	3	4	3-41	4-23	2	0.0	18.2	48.3	-	-	47.3	4-28
13	р	-	3-55	16.7	1	5	3-55	4-24	1	0.0	22.0	0.0	14.0	4-38	43.5	-
14	р	-	4-17	22.2	1	2	4-17	4-53	2	0.0	0.0	16.0	14.0	5-7	50.5	-

Рисунок В.1 – Фрагмент файла результатов моделирования

В.2. Фрагмент графика выполненной работы станции



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ :

- | | | | |
|------|--|------|---|
| 2190 | техническое обслуживание состава | 2456 | ожидание формирования поезда |
| 2190 | надвиг состава на горку | 2456 | формирование поезда |
| 2190 | ропуск состава с горки | 2456 | маневры по формированию поезда |
| 2190 | возвращение локомотива | 2456 | перестановка состава |
| 2190 | осаживание вагонов | 2456 | опробование тормозов |
| 2190 | накопление вагонов в сортировочном парке | 2456 | занятие горловины при отправлении или приеме поезда |

В.3. Данные хронометража обработки поездов в парке М

№ п/п	№ поезда	$N_{\text{ваг.}}$ ваг.	$T_{\text{закр.}}$ МИН.	$T_{\text{то,}}$ ХВ.	$T_{\text{уб,}}$ ХВ.	$N_{\text{о,}}$ отцепов.	$T_{\text{расф,}}$ МИН.	$T_{\text{док,}}$ МИН.	$T_{\text{кор,}}$ МИН.
1	2416	57	3,9	35	3,3	12	17	35	5
2	3312	43	3,0	22	3,0	16	18	42	8
3	2418	48	3,1	23	2,9	12	16	36	4
4	2632	58	4,1	36	3,4	13	17	29	10
5	2844	63	4,4	48	3,6	18	19	28	6
6	2848	54	3,6	29	2,9	15	18	41	7
7	3426	32	2,6	18	2,6	8	14	38	5
8	3316	50	3,2	25	3,1	18	19	36	6
9	2216	57	3,8	34	3,2	21	21	42	9
10	2436	52	3,6	27	3,3	19	19	35	11
11	3416	21	2,3	14	2,1	4	12	31	8
12	2856	44	3,2	22	2,9	9	15	44	6
13	2862	56	3,7	36	3,4	15	18	38	7
14	2314	58	4,0	36	3,5	21	19	40	9
15	3602	34	2,3	16	2,0	6	14	41	6
16	2332	60	4,1	42	3,8	18	19	37	10
17	3426	35	2,7	17	2,7	14	16	39	8
18	2266	46	3,1	22	3,0	10	16	25	12
19	3432	39	2,5	18	2,8	14	17	26	7
20	2602	57	3,6	37	3,2	22	21	38	9
21	3410	55	3,7	31	3,4	16	18	32	13
22	2864	44	3,0	24	2,9	13	17	41	8
23	2872	42	2,8	26	2,9	10	16	36	10
24	2512	54	3,4	32	3,4	20	20	44	9
25	3415	30	2,6	18	2,6	11	15	36	6
26	2502	57	3,7	34	3,2	15	18	44	8
27	3324	57	3,8	37	3,2	16	20	37	9
28	3462	43	2,8	19	2,9	17	15	34	5
29	3618	28	2,3	16	2,2	7	14	24	8
30	2640	60	4,1	42	3,3	20	20	31	4
31	3702	45	2,9	20	3,0	11	16	42	8
32	3510	55	3,7	31	3,2	18	19	38	7
33	3514	56	3,8	32	3,2	16	18	46	10
34	3526	51	3,4	26	3,1	23	22	38	12
35	3606	38	2,8	16	2,8	15	17	23	4
36	2808	57	4,0	34	3,3	25	19	40	6
37	3710	50	3,2	25	3,1	22	20	35	9
38	3516	56	3,9	33	3,4	16	18	32	9
39	3518	55	3,5	34	3,3	17	19	32	10
40	3522	57	4,1	34	3,9	15	14	28	6
41	2636	56	3,4	32	3,1	12	17	30	6
42	2816	58	4,0	38	3,3	14	16	36	8
43	2822	57	4,0	34	3,2	17	19	41	4
44	2448	49	3,5	22	3,0	14	17	38	9
45	3722	46	2,9	20	3,1	10	15	29	7
46	3718	57	3,7	34	3,2	13	17	34	6
47	2830	55	3,7	31	3,2	16	18	36	5
48	2834	58	4,0	37	3,3	22	21	39	8
49	3522	50	3,5	24	3,1	19	19	34	10
50	2388	54	3,8	28	3,2	12	15	36	8

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
ПРОЦЕССА СОСТАВООБРАЗОВАНИЯ

Г.1. План эксперимента

* №	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
* 1	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1
* 2	1,	1,	1,	1,-1,	1,-1		
* 3	1,	1,	1,-1,	1,-1,-1			
* 4	1,	1,	1,-1,-1,-1,	1			
* 5	1,	1,-1,	1,	1,-1,-1			
* 6	1,	1,-1,	1,-1,-1,	1			
* 7	1,	1,-1,-1,	1,	1,	1		
* 8	1,	1,-1,-1,-1,	1,-1				
* 9	1,-1,	1,	1,	1,-1,-1			
*10	1,-1,	1,	1,-1,-1,	1			
*11	1,-1,	1,-1,	1,	1,	1		
*12	1,-1,	1,-1,-1,	1,-1				
*13	1,-1,-1,	1,	1,	1,	1		
*14	1,-1,-1,	1,-1,	1,-1				
*15	1,-1,-1,-1,	1,-1,-1					
*16	1,-1,-1,-1,-1,-1,	1					
*17	-1,	1,	1,	1,	1,-1,-1		
*18	-1,	1,	1,	1,-1,-1,	1		
*19	-1,	1,	1,-1,	1,	1,	1	
*20	-1,	1,	1,-1,-1,	1,-1			
*21	-1,	1,-1,	1,	1,	1,	1	
*22	-1,	1,-1,	1,-1,	1,-1,	1,-1		
*23	-1,	1,-1,-1,	1,-1,-1				
*24	-1,	1,-1,-1,-1,-1,-1,	1				
*25	-1,-1,	1,	1,	1,	1,	1	
*26	-1,-1,	1,	1,-1,	1,-1			
*27	-1,-1,	1,-1,	1,-1,-1				
*28	-1,-1,	1,-1,-1,-1,	1				
*29	-1,-1,-1,	1,	1,-1,-1				
*30	-1,-1,-1,	1,-1,-1,	1				
*31	-1,-1,-1,-1,	1,	1,	1			
*32	-1,-1,-1,-1,-1,-1,	1,-1					

Г.2. Результаты экспериментов

При исследовании влияния факторов на продолжительность простоя транзитного вагона с переработкой на станции выполнялась серия из трех экспериментов Y1, Y2, Y3.

№	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2	Y3
1	200.00	2	2	4	1.00	1	1.00	8.57	9,09	8,59
2	200.00	2	2	4	0.50	1	0.50	10.32	9,59	9,02
3	200.00	2	2	2	1.00	3	0.50	9.71	9,68	9,31
4	200.00	2	2	2	0.50	3	1.00	7.46	10,11	12,88
5	200.00	2	1	4	1.00	3	0.50	9.05	9,51	9,70
6	200.00	2	1	4	0.50	3	1.00	9.57	11,84	8,37
7	200.00	2	1	2	1.00	1	1.00	9.96	9,09	8,84
8	200.00	2	1	2	0.50	1	0.50	9.46	9,25	10,08
9	200.00	1	2	4	1.00	3	0.50	9.02	9,98	8,26
10	200.00	1	2	4	0.50	3	1.00	9.96	10,33	10,83
11	200.00	1	2	2	1.00	1	1.00	10.37	9,98	10,92
12	200.00	1	2	2	0.50	1	0.50	9.01	8,76	8,51
13	200.00	1	1	4	1.00	1	1.00	9.03	8,71	10,11
14	200.00	1	1	4	0.50	1	0.50	8.46	10,32	7,92
15	200.00	1	1	2	1.00	3	0.50	9.52	9,44	8,75
16	200.00	1	1	2	0.50	3	1.00	9.49	13,59	12,25
17	0.00	2	2	4	1.00	3	0.50	5.47	7,70	7,44
18	0.00	2	2	4	0.50	3	1.00	5.64	4,64	9,58
19	0.00	2	2	2	1.00	1	1.00	5.68	6,90	7,02
20	0.00	2	2	2	0.50	1	0.50	6.28	7,64	6,28
21	0.00	2	1	4	1.00	1	1.00	6.14	6,79	6,66
22	0.00	2	1	4	0.50	1	0.50	8.18	7,56	6,99
23	0.00	2	1	2	1.00	3	0.50	6.59	7,81	7,63
24	0.00	2	1	2	0.50	3	1.00	4.11	4,95	6,13
25	0.00	1	2	4	1.00	1	1.00	7.79	7,94	5,37
26	0.00	1	2	4	0.50	1	0.50	7.58	7,05	7,34
27	0.00	1	2	2	1.00	3	0.50	8.38	6,09	7,64
28	0.00	1	2	2	0.50	3	1.00	9.98	10,68	9,14
29	0.00	1	1	4	1.00	3	0.50	6.88	6,29	7,86
30	0.00	1	1	4	0.50	3	1.00	5.02	7,81	6,85
31	0.00	1	1	2	1.00	1	1.00	8.13	7,03	6,97
32	0.00	1	1	2	0.50	1	0.50	7.73	8,61	8,41

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1.1 – Динамика изменения оборота вагона и участковой скорости

Рисунок 1.2 - Динамика изменения оборота вагона и количества технических станций, проходит вагон течение полного рейса.

Рисунок 1.3 – Динамика изменения оборота вагона и простоя на 1 технической станции

Рисунок 2.1 – Объемы железнодорожных перевозок в международном и внутреннем сообщении, млн. т.

Рисунок 2.2 – Структура железнодорожных перевозок в международном сообщении, млн. т.

Рисунок 2.3 – Схема сети паневропейских (критских) международных транспортных коридоров

Рисунок 2.4 – Схема МТК, проходящих по территории Украины

Рисунок 2.5 – Схема МТК №9

Рисунок 2.6 – Схема МТК №9 на территории Украины

Рисунок 2.7 – Принципиальная схема станции Жмеринка

Рисунок 3.1 – Пример влияния очередности роспуска составов на количество отцепов в составах своего формирования

Рисунок 4.1 – Зависимость между среднесуточным количеством поездов на станции Жмеринка и днем недели

Рисунок 4.2 – Зависимость количества поездов на станции Жмеринка от периода суток

Рисунок 4.3 – Графики интенсивности отправления грузовых поездов в зависимости от периода времени их отправление на участках: а) *Казатин – Жмеринка*; б) *Жмеринка – Казатин*; в) *Вапнярка – Жмеринка*; г) *Жмеринка – Вапнярка*

Рисунок 4.4 – Графики интенсивности отправления грузовых поездов в зависимости от дня недели их отправление на участках: а) *Казатин – Жмеринка*; б) *Жмеринка– Казатин*; в) *Вапнярка – Жмеринка*; г) *Жмеринка – Вапнярка*

Рисунок 4.5 – Зависимость средней продолжительности простоя составов в приемо-отправочных парках станции Жмеринка от: *а) дня недели; б) периода суток*

Рисунок 4.6 – Графики продолжительности движения грузовых поездов в зависимости от периода суток их отправление на участках: *а) Казатин-Жмеринка; б) Вапнярка – Жмеринка*

Рисунок 4.7 – Графики продолжительности движения грузовых поездов в зависимости от дня недели их отправление на участках: *а) Казатин – Жмеринка; б) Вапнярка – Жмеринка*

Рисунок 4.8 – Графики продолжительности движения грузовых поездов в зависимости от массы поезда на участках: *а) Казатин – Жмеринка; б) Вапнярка – Жмеринка*

Рисунок 5.1 – Структура адаптивной модели оперативного управления работой сортировочной станции

Рисунок 5.2 – Алгоритм работы модуля прогноза прибытия поездов

Рисунок 5.3 – Модель формального нейрона

Рисунок 5.4 – Кодирование входного вектора фактических данных о поезде

Рисунок 5.5 – Структура нейросети типа «персептрон»

Рисунок 5.6 – Алгоритм работы прогнозного модуля

Рисунок 5.7 – Структура имитационной модели работы сортировочной станции

Рисунок 5.8 – Распределение пунктов: *а) ожидания; б) выполнения операций*

Рисунок 5.9 – Информационная модель подсистемы расформирования

Рисунок 5.10 – Информационная модель сортировочного парка

Рисунок 6.1 – Средний простой вагона в подсистеме расформирования при разной дисциплине обслуживания поездов

Рисунок А.1 – Схема станции Жмеринка

Рисунок В.1 – Фрагмент файла результатов моделирования

Рисунок В.2 – Фрагмент графика выполненной работы станции

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 2.1 – Объемы перевозок железнодорожным транспортом Украины в 2004-2019 г. г., млн. т.

Таблица 2.2 – Характеристика подходов, примыкающих к станции

Таблица 4.1 – Параметры распределения случайной величины продолжительности движения грузовых поездов на участках железнодорожного направления

Таблица 6.1 – Оценка эффективности оперативного управления в подсистеме „парк-прибытие – сортировочный парк”

Таблица 6.2. – Кодирование факторов эксперимента

Таблица 6.3. – Кодирование факторов эксперимента

Таблица Б.1 – Параметры распределения случайной величины продолжительности движения поездов на участках в зависимости от периода суток их отправления

Таблица Б.2 – Параметры распределения случайной величины продолжительности движения поездов на участках в зависимости от дня недели

Таблица Б.3 – Параметры распределения случайной величины продолжительности движения поездов на участках в зависимости от массы поезда

Таблица В.1 – Данные хронометража обработки поездов в парке М

АННОТАЦИЯ

Магистерская работа состоит из введения, 7 разделов, выводов и приложений. Общий объем текста – 128 страниц: основной текст – 101 страница, библиография, которая включает 118 наименований – 12 страниц, приложения – 11 страниц, 33 рисунка, 10 таблиц.

В работе рассмотрены проблемы совершенствования оперативного управления работой сортировочных станций в международных транспортных коридорах. Выполнен комплексный анализ опыта оперативного планирования и управления работой станций, а также проблем и перспектив развития международных транспортных коридоров в Украине. В качестве объекта исследования выбрана сортировочная станция Жмеринка, расположенная в транспортном коридоре №9. Исследовано влияние неравномерности перевозок на основные показатели работы поездной работы, а также взаимосвязи между различными факторами (дата, время, масса поезда) и продолжительностью движения грузовых поездов на железнодорожных участках. Для оценки эффективности оперативных решений по управлению работой станции использована имитационная модель, основанная методах теории массового обслуживания и аппарате искусственных нейронных сетей. Модель использована для оценки вариантов оперативных решений при выборе очередности обслуживания поездов на станции, а также для оценки влияния различных факторов на показатели работы станции.

Ключевые слова: международный транспортный коридор, сортировочная станция, оперативное управление, имитационное моделирование, оптимизация, планирование экспериментов.

SUMMARY

Master's thesis consists of an introduction, 7 chapters, conclusions and annexes. Total volume of text – 128 pages: main text – 101 pages, bibliography, which includes 118 items – 12 pages, annexes – 11 pages, 33 figures, 10 tables.

The Master's thesis considers the problems of improving the operational management of sorting stations in international transport corridors. The study contains a complex analysis of the experience of operational planning and station operation management, as well as problems and prospects for the development of international transport corridors in Ukraine. The Zhmerynka marshaling yard located in the transport corridor No. 9 was chosen as the object of the study. The effect of traffic unevenness on the main indicators of train operation, as well as the relationship between various factors (date, time, trains weight) and the duration of the movement of freight trains on the railway in the sections, is studied. To assess the effectiveness of operational decisions to control the operation of the station, a simulation model based on the methods of queuing theory and the apparatus of artificial neural networks was used. The model is used to assess options for operational decisions when choosing the sequence of train servicing at the station, as well as to assess the influence of various factors on the performance of the station.

Keywords: international transport corridor, marshaling yard, operational management, simulation, optimization, experiment planning.