

005049785

На правах рукописи

Минаков Павел Андреевич

ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ
В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ЗАГРУЗОК

Специальность 05.22.08 - Управление процессами перевозок

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

14 ФЕВ 2013

Москва – 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» на кафедре «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте»

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Батурич Александр Павлович

Официальные оппоненты: Сотников Евгений Александрович

доктор технических наук, профессор, ОАО
«ВНИИЖТ», главный научный сотрудник;

Билеско Геннадий Михайлович

кандидат технических наук, доцент, МИ УПС
(МИИТ), декан факультета «Управление
процессами перевозок» Российской открытой
академии транспорта

Ведущая организация: ОАО «Институт экономики и развития
транспорта (ИЭРТ)»

Защита состоится «19» февраля 2013г. в 15 часов 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 218.005.07 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр.9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения».

Автореферат разослан «16» января 2013 г.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью, просим направить по адресу диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Горелик
Александр Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследуемой темы. Железнодорожный транспорт занимает ведущее место в транспортной системе России. В период реформ, проводимых в настоящее время на железнодорожном транспорте, частью которых является полная приватизация парка вагонов, происходит обострение конкуренции между компаниями-операторами. Каждая из таких компаний проводит собственную политику, направленную на эффективность использования вагонного парка только компанией владельца. Построение логистических схем использования универсальных вагонов в таких случаях ограничено. Это приводит к увеличению коэффициента порожнего пробега для большинства родов подвижного состава. В связи с этим, а также в связи с ростом численности вагонного парка отрасль сталкивается с рядом серьёзных проблем. Одной из таких проблем является предельное использование пропускных способностей целых направлений и перерабатывающих способностей крупнейших сортировочных станций сети.

Актуальность работы обусловлена тем, что в настоящее время нет аналитических методов для расчёта числа путей в парках, числа бригад и групп работников ПТО и ПКО в бригаде при загрузках систем обслуживания более 0.75-0.8. Эта задача может быть решена только с использованием имитационного моделирования, но сам этот метод чрезвычайно трудоёмкий и требует больших затрат человеко-часов. Разработка аналитического метода, позволяющего снять ограничения по загрузке, является актуальной задачей.

Изолированное рассмотрение взаимосвязанных параметров технического оснащения и технологии работы сортировочных станций в значительной степени снижает эффективность станционных систем. Определение технико-технологических параметров работы сортировочных станций, как сложного взаимосвязанного комплекса функционирования всей цепи систем обслуживания поездопотоков на станции позволяет определить влияние технического оснащения этих станций на скорость прохождения вагонопотоков через станции в условиях загрузок большинства из этих систем близких к максимально возможным.

Для определения времени нахождения вагона на сортировочной станции и влияния тех или иных мероприятий по усилению её пропускной и перерабатывающей способности на показатели функционирования этой станции необходимо определить узкие места при продвижении вагонопотока и поездопотока по станции, разработать методику определения показателей работы станции в условиях предельных загрузок отдельных станционных подсистем.

Целью исследования является разработка методики по определению технико-технологических параметров работы сортировочной станции в условиях ограниченной емкости парков станции, численности используемого локомотивного парка при совместном рассмотрении всего сортировочного комплекса с учётом взаимного влияния отдельных систем обслуживания поездопотока и вагонопотока для предельных уровней загрузки этих систем.

К числу основных задач исследования относятся:

1. Разработка методики расчёта показателей работы станции, при фиксированном техническом оснащении отдельных устройств и заданной технологии работы сортировочной станции на предлагаемый объем работы, которая позволяет:

- определять межоперационные простои составов, заполнение парков станции;
- оценивать потери связанные с задержками поездов;
- определять эффективность использования технических средств на станции.

2. Разработка аналитических формул для расчёта времени нахождения поездов и составов в отдельных системах обслуживания поездопотока на сортировочной станции с последующей проверкой сходимости полученных результатов по суточным графикам работы станции в условиях предельных загрузок систем;

3. Определение влияния недостаточного числа путей в парках станции на задержки поездов по не приему в период предоставления технологических перерывов в работе:

- сортировочной горки;
- маневровых локомотивов;
- в условиях предоставления «окон» для ремонтно-строительных работ;

4. Определение эффекта при проведении реконструктивных мероприятий по усилению пропускной и перерабатывающей способности сортировочной станции;

Объектом диссертационного исследования являются процессы взаимодействия систем обслуживания, переработки и пропуска поездопотоков на сортировочной станции.

Предмет исследования – показатели работы сортировочной станции при загрузках обслуживающих систем близких к максимальным величинам.

Методология и методы проведенного исследования основываются на:

- анализе существующих научных разработок в области определения параметров работы сортировочных станций;

- составлении системы дифференциальных уравнений первого порядка, описывающих работу отдельных звеньев обработки поездопотока на сортировочной станции;

- использовании методов численного решения систем дифференциальных уравнений для получения количества составов, находящихся в системе, в различные моменты времени;

- использовании методов сопоставления, сравнения и теоретического обоснования аналитических формул для расчёта показателей работы станции.

Научная новизна. Впервые предложена методика комплексного расчёта основных технико-технологических параметров работы сортировочной станции, основанная на применении непрерывного исчисления и описании стационарных технологических процессов с помощью дифференциальных уравнений. Существенно уточнены ранее полученные результаты расчётов показателей работы станции в условиях предельных загрузок обслуживающих систем.

С помощью разработанной методики можно оценить потери времени, связанные с межоперационными простоями, а также задержками поездов на подходе к станции, в условиях предельных загрузок различных систем обслуживания, а также ограниченной ёмкости парков станции. Исследованы вопросы взаимосвязи мощности отдельных систем обслуживания и их влияние на функционирование сопряжённых систем. Определены аналитические зависимости по расчёту отдельных составляющих времени нахождения вагонов на сортировочной станции.

Практическая значимость. Результаты работы по расчёту технико-технологических параметров станции использованы при разработке и внедрении мероприятий по увеличению пропускной и перерабатывающей способности сортировочных станций, что подтверждено соответствующим актом.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технической конференции «Наука МИИТа – транспорту» – (2008, 2009, 2012 годы), обсуждались на кафедре «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» (Москва 2010-2012 МИИТ).

Публикации. Основные положения диссертационной работы и научные результаты опубликованы в 4 печатных работах, в том числе в двух изданиях, рекомендованных ВАК России.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка. Основной текст изложен на 122 машинописных страницах и содержит 44 рисунка. Библиографический список включает 72 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, дается общая характеристика проблемы, определены цель исследования, а также степень новизны и практическая значимость результатов исследований.

Глава I. «Состояние вопроса и задачи исследования». Проведен анализ научных исследований, посвящённых вопросам: определения времени нахождения вагонов на сортировочных станциях; расчёту потребного путевого развития на сортировочных станциях; влиянию загрузки систем обслуживания на межоперационные простои.

Большой научный и практический вклад в разработку вопросов, связанных с определением технико-технологических параметров работы сортировочной станции внесли такие ученые как, доктора технических наук: Акулиничев В.М., Архангельский Е.В., Бернгард К.А., Бодюл В.И., Бородин А.Ф., Быкадоров А.В., Васильев И.И., Воробьев Н.А., Грунтов П.С., Дьяков Ю.В., Козлов В.Е., Правдин Н.В., Савченко И.Е., Сотников И.Б., Сотников Е.А., Тихомиров И.Г., Федотов Н.И., Шабалин Н.Н., Шмулевич М.И., а также кандидаты технических наук: Александров А.В., Корешков А.Н., Казюлин Г.Е., Сычёв Е.И. и другие, но вместе с тем вопросы определения технико-технологических параметров работы сортировочной станции в условиях предельных загрузок систем обслуживания требуют дальнейшего изучения.

Предложенные ранее подходы к решению поставленной задачи можно принципиально разделить на 3 группы:

- использование детерминированных зависимостей – это направление не учитывает вероятностную природу процессов поступления поездопотоков на станции;
- аналитическое использование теории вероятности и массового обслуживания – это направление даёт результаты при загрузке систем обслуживания не более 0.7-0.85;
- имитационное моделирование – это направление достаточно точно, но является трудоёмким.

При этом недостаточно изученным остаётся вопрос влияния функционирования отдельных систем на работу смежных с ними, недостаточного путевого развития парков станции на величину межоперационных простоев в условиях загрузок близких к максимальным. Ряд аналитических зависимостей по расчёту времени нахождения поездопотоков в различных системах обслуживания нуждается в уточнении.

В первой главе была поставлена общая задача взаимосвязанного рассмотрения функционирования всех основных систем обслуживания поездопотока на сортировочной станции с целью определения параметров работы станции в условиях возможного блокирования работы отдельных систем.

Предпосылками для формулировки такой задачи явилось следующее.

Вероятностный характер прибывающего на станцию поездопотока вызывает межоперационные простои составов при расформировании поездов, что в свою очередь, оказывает влияние на функционирование всей цепи систем обслуживания поездопотока на станции. Фиксированная емкость парков станции в определенных условиях также может оказывать влияние на работу и перерывы в работе всех обслуживающих систем. Так, например, недостаточное путевое развитие парка приема, при высокой загрузке системы обработки поездов в парке и невысокой перерабатывающей способности сортировочной горки, может вызывать простои составов на подходе к станции, а, следовательно, уменьшать пропускную способность прилегающих участков. Недостаточная емкость сортировочного парка, в свою очередь, может вызвать блокировку роспуска составов. Ограниченная емкость парка отправления влечёт за собой дополнительные простои составов в сортировочном парке из-за невозможности перестановки состава в парк отправления, а также задержки транзитных поездов на подходе из-за переполнения этого парка.

Это показывает тесную взаимосвязь в работе отдельных систем обслуживания поездопотока на сортировочной станции в условиях предельных загрузок. Наличие сложных технологических взаимосвязей между функционированием систем обслуживания требует рассмотрения работы каждой системы не изолированно от работы других систем, а в комплексе.

Глава 2. «Методика определения технико-технологических параметров работы сортировочной станции с использованием системы дифференциальных уравнений».

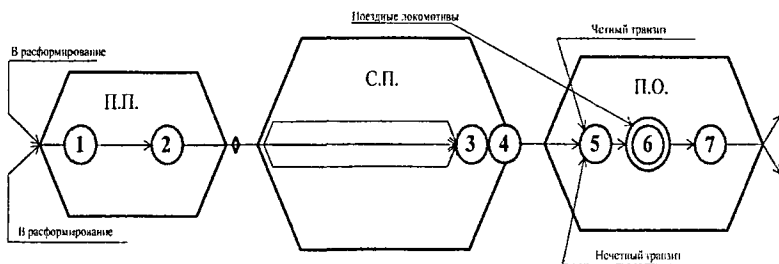
Во второй главе разработан принципиально новый подход к решению поставленной задачи: комплексного рассмотрения функционирования всех систем обслуживания поездопотоков на сортировочной станции с учётом взаимного влияния отдельных систем, на основе взаимосвязанной системы дифференциальных уравнений.

Сортировочная станция представляется как последовательность систем обслуживания поездопотоков, причём взаимосвязь между функционированием каждой из систем состоит не только, в преобразовании входящего потока в процессе обслуживания, но и во влиянии ограниченной ёмкости парков на возможность функционирования различных систем обслуживания на станции (рис.1).

Функционирование каждой из этих систем описывается дифференциальным уравнением первого порядка:

$$x(t) = \varphi(t) - \psi(t) \quad (1)$$

Где левая часть уравнения представляет собой «скорость» изменения количества поездопотока в системе во времени, правая часть - разность функций интенсивностей входящего потока и его обслуживания. Решение такого дифференциального уравнения сводится к нахождению функции $x(t)$, которая показывает изменение во времени количество поездопотока в этой системе. Соединение в одну систему всех дифференциальных уравнений, описывающих функционирование этих систем, создает взаимосвязанную систему дифференциальных уравнений первого порядка. В этой системе количество поездопотока в каждой из систем обслуживания зависит от количества поездопотока в других системах.



1. Обработка составов бригадами ПТО и ПКО в парке приема;
2. Расформирования составов на горке;
3. Окончание формирования составов;
4. Перестановка готовых составов в парк отправления;
5. Обработки составов бригадами ПТО и ПКО в парке отправления;
6. Обеспечение составов поездными локомотивами;
7. «Отправление».

Рис. 1. Основные системы обслуживания поездопотоков и вагонопотоков на сортировочной станции.

Сложность применения этого подхода заключается:

- во-первых, в определении общего вида функций интенсивности;
- во-вторых, в дискретности самого процесса работы с составами и поездами;
- в-третьих, в методах решения сложной взаимосвязанной системы дифференциальных уравнений.

С целью преодоления данных сложностей для сортировочной станции в работе была введена единая система обозначений всех параметров и функций интенсивностей. Предложены формулы по расчёту функций интенсивностей.

Аналитическое решение подобных уравнений затруднено вследствие сложности и разрывности входящих в неё функций, но они могут быть решены численно с использованием разностных схем, например схемы Эйлера первого порядка:

$$x(t+h) = x(t) + hF(x, t) \quad (2)$$

где: h – заданный шаг времени.

$F(x, t)$ – значений правой части дифференциального уравнения.

Рассматриваемое уравнение для определения «скорости» изменения количества поездопотока в системе обработки составов в парке приёма бригадой ПТО и КТО в рамках предложенной методики имеет вид:

$$\dot{x}_{1z}(t) = \varphi(t) - \left(\Psi_{1z}(x_{1z}, x_{2z}, t) - \Psi'_{1z}(x_{1z}, x_{2z}, t) \right) \quad (3)$$

где: $\varphi(t)$ – функция интенсивности входящего потока поездов, пребывающих в расформировании со всех прилегающих участков;

$x_{1z}(t), x_{2z}(t)$ – функции изменения во времени соответственно количества поездопотока в системах обработки составов в парке приёма z -ой бригадой ПТО и ПКО и расформирования составов, обработанных этой бригадой.

$\Psi_{1z}(x_{1z}, x_{2z}, t)$ – функция интенсивности обслуживания составов z -ой бригадой ПТО в парке приема;

$\Psi'_{1z}(x_{1z}, x_{2z}, t)$ – функция блокировки работы системы технического осмотра составов, обрабатываемых z -ой бригадой (т.е. приостановка осмотра бригадами из-за полной занятости путей парка приёма составами, ожидающими расформирования).

$$\Psi'_1(x_{1z}, x_2, t) = \begin{cases} 0 & \text{при } a \leq n_{\text{пут}}^{\text{пр}} - C \\ \Psi_1(x_{1z}, x_2, t) & \text{при } a > n_{\text{пут}}^{\text{пр}} - C \end{cases} \quad (4)$$

Где :

$$a = \begin{cases} [x_2] + 1 & \text{если } x_2 \neq K, K = 0, 1, 2, \dots \\ x_2 & \text{если } x_2 = K, K = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (5)$$

C – количество бригад ПТО, работающих в парке приема;

$n_{\text{пут}}^{\text{пр}}$ - число приемо-отправочных путей в парке приема.

$[\cdot]$ – целая часть числа.

Аналогичным образом в работе приведены дифференциальные уравнения для других систем обслуживания.

Разработанная система взаимосвязанных дифференциальных уравнений является динамической моделью взаимодействия систем обслуживания поездопотоков на сортировочной станции, учитывающая механизмы блокировки обслуживания, вследствие ограниченной ёмкости парков станции.

Глава 3. «Исследование взаимодействия основных систем обслуживания поездопотока в парке приема сортировочной станции».

В третьей главе проведено исследование взаимодействия системы обработки поездов бригадами ПТО и ПКО в парке приёма сортировочной станции и системы расформирования поездов на сортировочной горке.

Основой данного исследования явились расчёты, выполненные по программе, представляющей собой реализацию данной методики. Внутрисуточные колебания количества прибывающих в расформирование поездов должны быть учтены при расчётах величины межоперационных простоев, потребного числа путей в парке приёма и величины задержек поездов по неприёму на станцию в зависимости от загрузки двух основных систем обслуживания в этом парке. Эти загрузки определяются отношением времени, необходимым на выполнение заданного объёма работы, к суточному балансу времени. Важно подчеркнуть, что в данном случае, рассматривается неравномерность протекания процесса обработки поездопотока во времени, а не статические колебания случайной величины. Известные коэффициенты неравномерности, не являющиеся функцией времени, здесь неприемлемы.

На рисунке 2 представлены зависимости средней очереди в ожидании обработки прибывших в расформирование поездов бригадами ПТО и ПКО от загрузки данной системы.

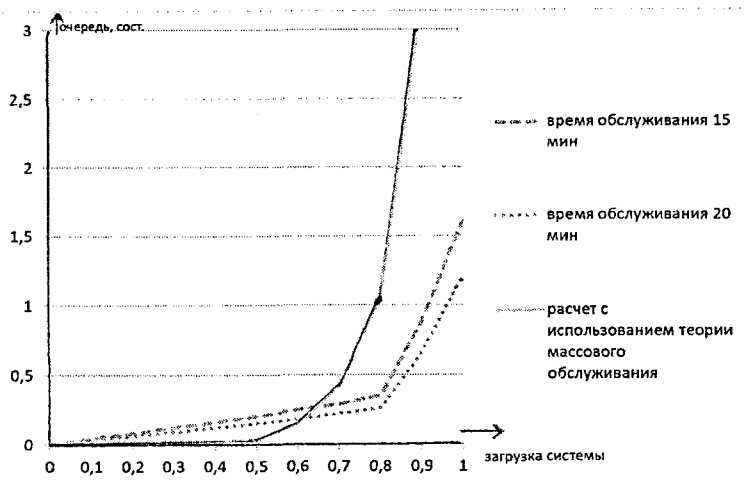


Рис. 2. Зависимость средней очереди в ожидании обработки составов в парке приёма от загрузки системы.

Расчеты по вышеприведенной методике показывают, что в зависимости средней очереди ожидания технического осмотра от загрузки бригады (бригад) ПТО имеют место два, ярко выраженных, диапазона значений - при загрузке до $\psi_{бр}^{nn} = 0.8$ включительно, данная зависимость является практически линейной, а при большей величине

загрузки, включая предельную точку $\psi_{бр}^{nn} = 1$, эта зависимость имеет вид параболы.

Проведенные расчеты позволили аппроксимировать результаты и получить следующие зависимости:

$$M[n_{оч}^{III}] = \begin{cases} \frac{0.1}{t_{обсл}^{III}} \psi_{бр}^{nn}, & \text{при } 0 \leq \psi_{бр}^{nn} \leq 0.8 \\ \frac{2(\psi_{бр}^{nn 2} - \psi_{бр}^{nn} + 0.2)}{t_{обсл}^{III}}, & \text{при } 0.8 < \psi_{бр}^{nn} \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

Где: $t_{обсл}^{III}$ - среднее время обработки составов в парке приема, час.

На рисунке 2 показана также зависимость средней очереди в ожидании технического и коммерческого осмотра составов в парке приема, полученная с использованием методик, основанных на теории массового обслуживания в сопоставимых условиях. Соизмеримые результаты имеют место только в диапазоне загрузки системы до 0.7.

Характер зависимости средней очереди в ожидании начала расформирования во многом копируют вид зависимости, имеющей место, показанное на рисунке 3. Однако характер зависимости средней очереди существенным образом зависит от величин загрузки системы обработки составов в парке приема и загрузки системы расформирования.

При соотношении $\psi_{бр}^{nn} \leq \psi_2$ зависимость средней очереди ожидания расформирования от загрузки системы расформирования в основном повторяет вид зависимости, приведенной в формуле 6, то есть:

$$M[n_{оч}^2] = \begin{cases} \frac{0.1}{t_2} \psi_2, & \text{при } 0 \leq \psi_2 \leq 0.8 \\ \frac{0.024}{t_2(1.1 - \psi_2)}, & \text{при } 0.8 < \psi_2 \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

Где: t_2 - среднее значение горочного интервала в цикле без учета времени технологических перерывов и запытия горки окончанием формирования, час.

В случае, когда $\psi_{бр}^{nn} > \psi_2$ гиперболическая часть в формуле 7 отсутствует и тогда формула принимает вид:

$$M[n_{оч}^2] = \frac{0.1}{t_2} \psi_2 \quad (8)$$

Сопоставимые результаты расчетов с методиками, основанными на теории массового обслуживания, в данном случае находятся также только в диапазоне изменения загрузки системы до 0.75.

Полученный результат является продуктом сложного взаимодействия двух смежных систем обработки поездопотока на сортировочной станции и не описывался проведенными ранее исследованиями при загрузках бригад осмотра и горки более 0,85.

Наличие перерывов в работе сортировочной горки, наложенное на неравномерность прибытия поездов, различное время ожидания обработки, длительность времени обработки, а также время ожидания

расформирования, в значительной степени изменяет время занятия пути парка в произвольные моменты времени.

Иллюстрация данного влияния показана на рисунке 3.

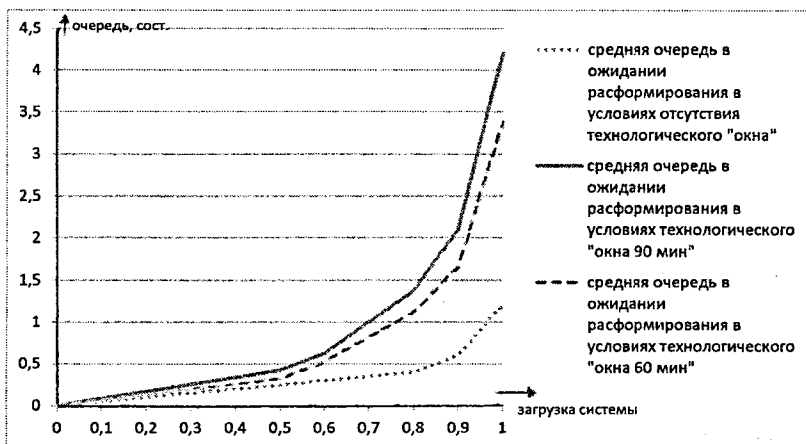


Рис. 3. Зависимость средней очереди в ожидании расформирования от загрузки горки роспуском составов при наличии технологического перерыва в работе и его отсутствия.

Аналитический расчёт средней очереди в ожидании расформирования рекомендуется проводить по формулам:

$$M[n_{оч}^z] = \begin{cases} \frac{0,1 - 0,005T_{пер} + 0,034T_{пер}^2}{t_2} \psi_2, & \text{при } 0 < \psi_2 \leq 0,6 \\ \frac{0,1 - 0,01T_{пер} + 0,12T_{пер}^2}{K t_2} \psi_2, & \text{при } 0,6 < \psi_2 \leq 0,8 \\ \frac{0,024(1 + 2,006T_{пер} - 0,226T_{пер}^2)}{t_2(1,1 - \psi_2)} K_1, & \text{при } 0,8 < \psi_2 \leq 1 \end{cases} \quad (9)$$

Где: t_T - среднее значение горочного интервала в цикле без учета времени технологических перерывов и занятия горки окончанием формирования, час.

$T_{пер}$ - время технологического перерыва в работе горки по расформированию поездов, час

K, K_1 - коэффициенты, зависящие от длительности среднего значения горочного интервала и длительности технологического перерыва в работе горки:

$$K = \begin{cases} 1, & \text{при } t_2 \leq 0,25 \text{ час} \\ 1,3, & \text{при } t_2 > 0,25 \text{ час, } T_{пер} \leq 1 \text{ час} \\ 1,8, & \text{при } t_2 > 0,25 \text{ час, } T_{пер} > 1 \text{ час} \end{cases} \quad (10)$$

$$K_1 = \begin{cases} 1,3, & \text{при } T_{\text{пер}} \leq 1 \text{ часа} \\ 1, & \text{при } T_{\text{пер}} > 1 \text{ часа} \end{cases} \quad (11)$$

Результатом расчётов по представленной методике является динамическое изменение числа занятых путей в парке приема, которое позволяет установить частоту (вероятность) занятости определенного числа путей парка, в том числе в условиях предельных загрузок систем(рис.4).

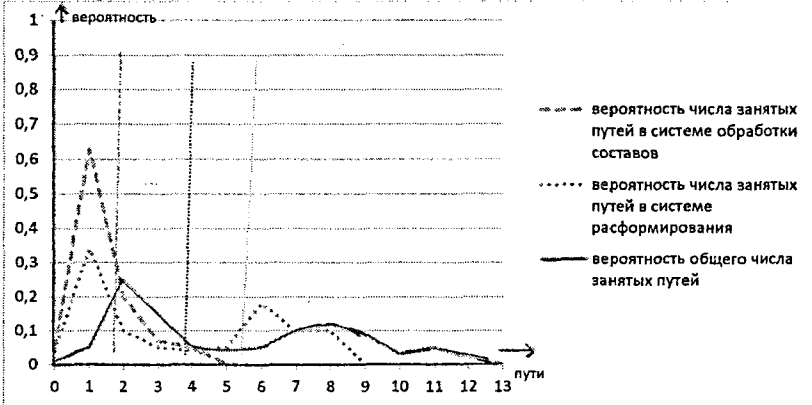


Рис.4. Многоугольник распределения числа занятых путей парка приема.

$\psi_{\text{бр}}^{\text{оп}} = 0,94$, $\psi_r = 1$. (длительность технологического перерыва-90 мин)

Опираясь на изложенные результаты анализа, получены рекомендации по определению потребного числа путей в парке приёма, обеспечивающего практически беспрепятственный приём поездов в этот парк, которые изложены в выводах.

В условиях недостаточного путевого развития парка приема, обеспечивающего беспрепятственный приём поездов, могут возникать неблагоприятные последствия, которые выражаются:

- в блокировании работы бригад ПТО в парке приема, связанное с тем, что в определенные моменты времени очередь составов, ожидающих расформирования, занимает весь парк приёма;

- в неприеме поездов с прилегающих участков, связанное с тем, что в определенные моменты времени число составов, находящихся в парке в ожидании обработки, расформирования, а также в процессе обработки, равно числу путей в парке.

Использование данной методики позволило получить зависимости средней очереди по неприему поездов в парк от числа приемоотправочных путей в нем, при различных нагрузках обслуживающих систем (рис. 5).

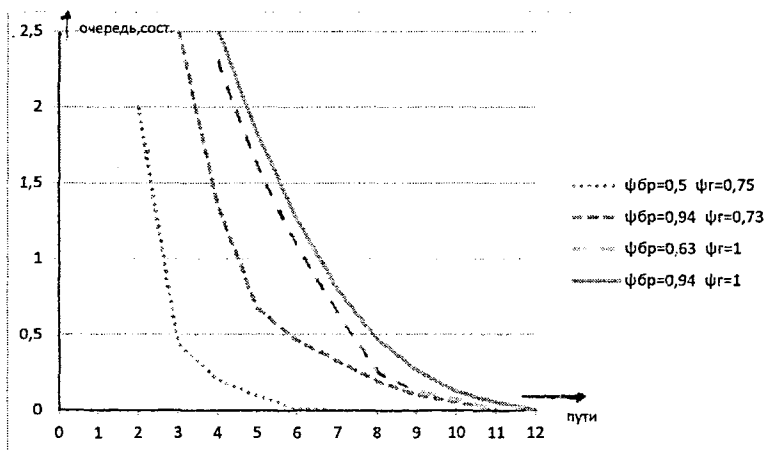


Рис. 5 Зависимость средней очереди числа поездов по неприему от количества путей в парке приема

При анализе суммарных поездо-часов задержек полученных по графикам движения и аналогичных показателей, полученных с использованием данной методики, установлено, что расхождений практически нет. Факты простоя поездов по неприему станции оказывают естественное влияние на пропускную способность прилегающих линий, уменьшая её. Методика позволяет определить долю фактически используемой пропускной способности линии по отношению к расчетной пропускной способности. Так при уменьшении числа путей парка приёма на 15% от их числа, обеспечивающего практически беспрепятственный приём поездов, в условиях предельных загрузок систем обслуживания, приводит к уменьшению пропускной способности прилегающего участка на 10%.

Глава 4 «Исследование взаимодействия основных систем обслуживания поездопотоков в сортировочном парке и парке отправления сортировочной станции»

В четвертой главе проведено исследование взаимодействия системы обслуживания поездопотока в сортировочном парке и парке отправления сортировочной станции, включая систему «отправления» поездов на прилегающие участки.

Как и в главе три, основой данного исследования явились расчёты, выполненные по программе, представляющей собой реализацию данной методики. Важно подчеркнуть, что большое влияние на функционирование, взаимодействие и условия блокирования в работе систем обслуживания в этих двух парках оказывают их наличные ёмкости.

Система формирования поездов разбита на две системы: собственно система окончания формирования и система по перестановке сформированных составов в парк отправления. Такое деление обусловлено фактом ограниченной ёмкости парка отправления, который в условиях предельных загрузок систем обслуживания в нём может создавать возможности блокирования процесса перестановки составов в парк, в связи с его полным заполнением. Сопряжённым влиянием этого факта является задержки транзитных поездов следующих без переработки через данную сортировочную станцию и принимаемых на пути парка отправления.

В работе процесс накопления составов определяется моделированием разложения расформировываемых составов по назначениям плана формирования с последующим суммированием поступающих групп до целых составов – это является неотъемлемой частью построения данной модели.

Многочисленные расчёты показали, что исходными данными, оказывающими существенное влияние на величину межоперационного простоя в ожидании окончания формирования составов, являются: число поездных назначений, закрепленных за локомотивом, суточная мощность этих назначений, продолжительность окончания формирования закрепленных поездных назначений, а также наличие перерывов в работе маневровых локомотивов, выполняющих окончание формирования поездов. Такие перерывы могут быть вызваны экипировкой локомотива, сменной локомотивной бригады, выполнением операций по подаче и уборке местных вагонов и другими причинами.

Ниже приведена формула зависимости средней очереди в ожидании окончания формирования составов от загрузки маневрового локомотива при отсутствии случаев не вывода составов в парк отправления, по причине занятости всех путей парка отправления (т.е. блокирования вывода составов).

$$M[n_{оч\ i}^{ман}] = \begin{cases} \frac{t_{оф\ i}}{0.3} \psi_{ман\ i} & \text{при } 0 < \psi_{ман\ i} \leq 0.5 \\ \frac{K(1.16 - 4.75\psi_{ман\ i} + 6.88\psi_{ман\ i}^2)t_{оф\ i}}{0.3} & \text{при } 0.5 < \psi_{ман\ i} \leq 1 \end{cases} \quad (12)$$

Где: $t_{оф\ i}$ – средневзвешенное время на окончание формирования, вывод состава в парк отправления и возвращение маневрового локомотива на вытяжной путь по группе закрепленных за i -ым маневровым локомотивом поездных назначений;

K – повышающий коэффициент, учитывающий суммарное время перерывов в работе маневрового локомотива по окончанию формирования составов поездов, определяемый:

$$K = 1 + \frac{3 T_{пер}}{24 - T_{пер}} (2\psi_{ман\ i} - 1) \quad (13)$$

Где: $T_{пер}$ - суммарное за сутки время перерывов в работе i -ого маневрового локомотива по формированию поездов, час.

Фактическая зависимость средней очереди в ожидании окончания формирования от перерывов в работе маневрового локомотива имеет место при загрузках больше $\psi_{ман} = 0.6$. В сравнении с другими, ранее исследуемыми системами парка приёма, система формирования, в общем случае, имеет значительно более существенные в численном значении очереди в ожидании выполнения технологических операций, что обусловлено характером входящего в систему неравномерного потока. При сравнении результатов, полученных с использованием настоящей методики и методик, основанных на теории массового обслуживания, следует сделать вывод о том, что сопоставимые по значению результаты имеют место только в узком диапазоне загрузок от 0,85 до 0,9.

Входящий поток в систему обработки составов в парке отправления складывается из совокупности потоков, образующихся в результате работы нескольких маневровых локомотивов в хвосте сортировочного парка, а также прибытия транзитных поездов со всех примыкающих направлений.

Расчёты показывают, что коэффициент вариации интервалов входящего потока в систему обработки составов в парке отправления изменяется незначительно, а поскольку он является основополагающим показателем для расчета среднего числа составов находящихся в ожидании и в процессе обработки по ранее разработанным методикам, то результаты расчетов будут отличаться незначительно. Приведенная методика отвергает данное положение, так как:

- во-первых, при расчете средней очереди имеет значение как частота появления того или иного интервала между смежными составами, так и последовательность появления различных интервалов;

- во-вторых, в условиях ограниченной емкости парка отправления общая очередь в ожидании обработки фактически раскладывается на три части:

- Собственно очередь составов в ожидании обработки на путях парка отправления;
- Очередь составов, ожидающих вывода в парк отправления после освобождения его путей;
- Очередь транзитных поездов на подходе к станции, ожидающих приема в парк после освобождения его путей.

Исследования и дальнейшая аппроксимация результатов расчётов позволила получить зависимость средней очереди в ожидании обработки составов в парке отправления от загрузки этой системы (в условиях достаточного количества путей в парке отправления, формула 14):

$$M[n_{оч}^{бр} ПО] = \begin{cases} \frac{0.25}{t_{обсл}^{ПО}} \psi_{бр}^{по}, & \text{при } 0 \leq \psi_{бр}^{по} \leq 0.8 \\ \frac{2.5(2\psi_{бр}^{по}{}^2 - 3\psi_{бр}^{по} + 1.2)}{t_{обсл}^{ПО}}, & \text{при } 0.8 < \psi_{бр}^{по} \leq 1 \end{cases} \quad (14)$$

Характер зависимости, в общем виде, аналогичен зависимостям, полученным при исследовании других систем обслуживания.

В условиях недостаточного для беспрепятственного вывода составов в парк отправления путей, происходит изменение фактических очередей и рост суммы трех очередей практически в два раза. Таким образом, оказывается влияние числа путей в парке отправления на характеристики смежных систем на сортировочной станции.

В условиях наличия на одном из прилегающих участков «окна» для проведения ремонтных работ, его влияние на характер очереди в системе обработки поездов в парке отправления также основано на делении общей очереди на три составные части. В этом случае в достаточно протяжённый период времени имеет место переполнение парка отправления поездами, ожидающими отправления на участок. При этом фиксированное число путей парка отправления является ограничением по как беспрепятственному приему транзитных поездов, так и беспрепятственному выводу составов из сортировочного парка.

Характерной особенностью системы обеспечения составов поездными локомотивами является то, что в неё одновременно поступают входящие потоки, составы готовые в техническом и коммерческом отношении, ожидающие появления локомотивов и готовые в техническом отношении локомотивы, при безусловном наличии локомотивных бригад, ожидающих появления составов. Такая технология ориентирована на отправление поездов по твердым ниткам графика. Первый входящий поток – поток, являющийся выходящим из системы обработки составов в парке отправления, как поездов своего формирования, так и транзитных. Второй входящий поток, являющийся потоком локомотивов, обеспеченных локомотивными бригадами, представляет собой моменты готовности локомотивов, как подготовленных в депо станции, так и подсылаемых резервом с других станций.

Наложение вышеуказанных входящих потоков друг на друга вызывает в следствии несоответствии времен выдачи поездных локомотивов под составы из депо и моментов готовности составов к прицепке поездных локомотивов, простои, как поездных локомотивов, так и готовых составов. В работе определены средние величины очередей локомотивов и составов в зависимости от загрузки данной системы. Очевидно, что с увеличением загрузки системы очередь готовых составов возрастает, а очередь готовых к прицепке поездных локомотивов уменьшается.

Следует отметить, что загрузка данной системы обеспечения составов поездными локомотивами определяется отношением числа локомотивов данной специализации, прицепленных к составам за определенный промежуток времени к числу локомотивов, представленных за этот промежуток времени, и готовых к прицепке:

$$\psi_{lj} = \frac{S_{ЛОКj}^{пр}}{S_{ЛОКj}^{гот}} \quad (15)$$

Средняя очередь составов, ожидающих прицепки локомотивов j -го типа, определяется параболической зависимостью:

$$M[n_{оч}^{сост}]_j = 1.6\psi_{lj}^2 + 4.2\psi_{lj} - 1.9 \quad (16)$$

Эта зависимость имеет место при достаточно равномерном появления поездных локомотивов в течение рассматриваемого промежутка времени.

Средняя очередь поездных локомотивов j -го типа, ожидающих прицепки к составам также определяется параболической зависимостью:

$$M[n_{оч}^{лок}]_j = 7.75\psi_{lj}^2 - 15.5\psi_{lj} + 8.5 \quad (17)$$

Иллюстрация данных зависимостей приведена на рисунке 6.

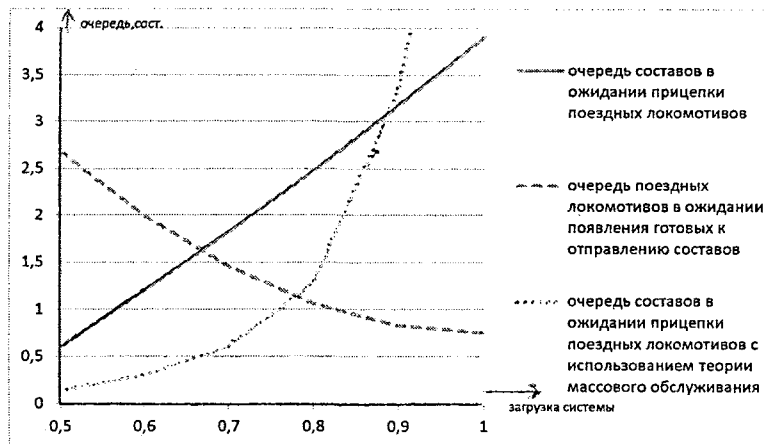


Рис. 6 Зависимость средней очереди составов в ожидании прицепки поездных локомотивов и средней очереди поездных локомотивов в ожидании появления готовых составов от загрузки системы обеспечения поездными локомотивами.

Для установления зависимости влияния наличия «окна» на прилегающем участке на функционирование системы обеспечения поездными локомотивами был проведен анализ величин очередей локомотивов и составов для различных вариантов графика движения с различной продолжительностью «окна». Этот анализ показал, что при

изменении длительности «окна» изменяется характер входящего потока поездных локомотивов для их подачи под готовые составы. однако при фиксированной загрузке в системе обеспечения поездными локомотивами средняя очередь составов, ожидающих подачи поездных локомотивов, практически не меняется. Величина этой очереди, прежде всего, зависит от загрузки данной системы.

Входящим потоком для системы «отправления» поездов со станции является поток поездов, выходящий из системы обеспечения поездными локомотивами. Характеристики этого потока, ввиду прохождения через системы обработки поездов в парке отправления и обеспечения поездными локомотивами, претерпевают значительные изменения. На характер этих изменений влияют также обеспеченность потока поездов необходимым количеством путей в парке отправления, предназначенных для их размещения. В условиях ограниченного числа путей и, как следствие этого, наличие простоя составов в ожидании вывода в парк отправления и неприема транзитных поездов по этой же причине, происходит уменьшение средних очередей в ожидании обслуживания во всех трех системах и некоторое изменение характеристик потока поездов, поступающих в систему «отправления».

Загрузка системы «отправления» в работе определяется отношением числа отправленных поездов по предъявленному за рассматриваемый период времени ниткам графика к общему числу ниток графика за тот же период (в работе рассматривается диапазон изменения загрузки системы «отправления» поездов 0.5-1):

$$\psi_{yчj} = \frac{N_{отпрj}}{N_{нитокj}} \quad (18)$$

Система обеспечения поездными локомотивами в условиях значительной её загрузки (более 0.75) оказывает влияние на функционирование системы «отправления» поездов, ввиду того, что несвоевременная прицепка поездного локомотива может привести к безвозвратной потере ниток в графике движения.

Средняя очередь поездов, ожидающих отправления на j-ый участок в этих условиях может быть определена параболической зависимостью:

$$M[n_{оч}^{отпр}]_j = \begin{cases} 13.75\psi_{yчj}^2 - 14.25\psi_{yчj} + 4.2 & \text{при } \psi_{yчj} \leq 0.75 \\ 13.75\psi_{yчj}^2 - 14.25\psi_{yчj} + 4.2 + (72.33\psi_{yчj} - 36\psi_{yчj} - 34) & \text{при } \psi_{yчj} > 0.75 \end{cases} \quad (19)$$

Эта зависимость имеет место при достаточно равномерном расположении ниток графика в течение рассматриваемого промежутка времени и отсутствия «окон» на прилегающих участках.

На рисунке 7 показаны зависимости средней очереди поездов в ожидании отправления на участок, полученные по приведенной методике и по методике с использованием теории массового

обслуживания. Данные зависимости могут быть использованы как для однопутных, так и для двухпутных участков.

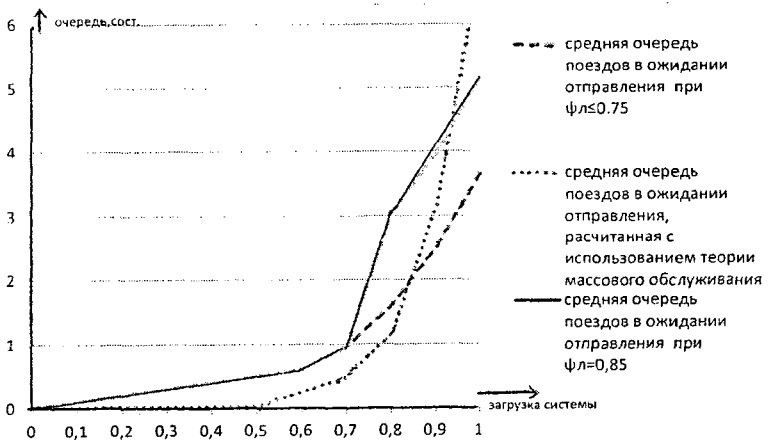


Рис. 7 Зависимость средней очереди поездов в ожидании отправления на участок от загрузки пропускной способности участка.

В условиях наличия «окон» для проведения ремонтных работ на прилегающих участках имеет место значительное изменение характеристик выходящего из системы «отправления» потока, связанное с полным отсутствием ниток по отправлению поездов в период «окна», или со значительным уменьшением их числа. Такая неравномерность при отправлении поездов вызывает увеличение средней очереди в ожидании отправления. Многочисленные расчеты позволили определить повышающий коэффициент к значению средней очереди в условиях наличия «окна». Значение этого коэффициента меняется в диапазоне от 1.6 до 2.1 при увеличении продолжительности «окна» от 4 до 6 часов.

Неравномерное окончание накопления составов обслуживаемых на группе сортировочных путей одним локомотивом вызывает ожидание окончания формирования таких составов. Очередь в ожидании вывода составов в парк отправления может быть вызвана кроме вышеуказанной причины также отсутствием свободных путей парка отправления. Если в отдельные периоды времени парк отправления с учетом приема транзитных поездов без переработки переполнен и имеет место дополнительный простой составов в ожидании вывода по этой причине, то тем самым загрузка трех вышеуказанных систем в совокупности оказывает влияние на заполнение емкости сортировочного парка. Потребная емкость сортировочного парка должна обеспечивать бесперебойный роспуск

составов в условиях, когда происходит увеличение числа составов находящихся в парке вследствие периодического возрастания располагающихся в нем составов, ввиду всех вышеуказанных причин.

Колебания заполнения парка следует учитывать дополнительными коэффициентами, зависящими от среднего значения заполнения парка составами, которые определены в работе.

Разработанная методика позволила установить число занятых путей парка отправления в отдельные временные сечения в течение всего рассматриваемого периода. Анализ динамического изменения числа занятых путей в парке отправления позволяет определить частоту (вероятность) занятости определенного числа путей парка. В отличие от парка приема, для парка отправления число путей регламентируется функционированием не двух а трех систем обслуживания. Ввиду этого общее число занятых путей парка в произвольный момент времени зависит от загрузок каждой из этих трёх систем. Ниже приведена зависимость вероятности занятия определенного числа путей парка в условиях предельных загрузок систем обслуживания.

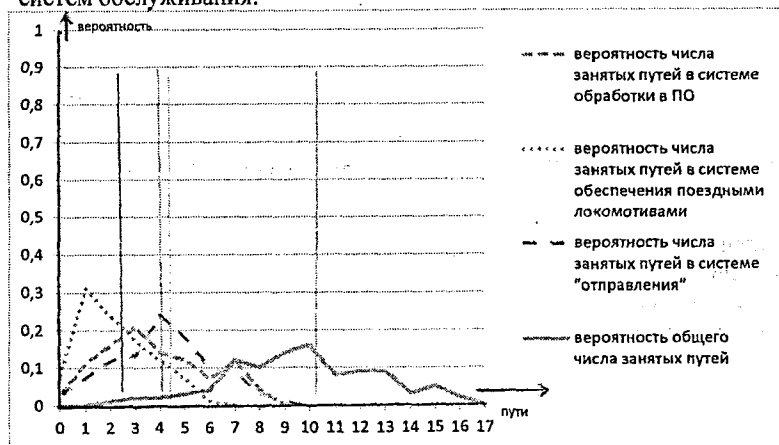


Рис 8 Многоугольник распределения числа занятых путей парка отправления.

$$\psi_{\text{ПО}}^{\text{ДО}} = 0.96, \psi_n = 0.63, \psi_{\text{УЧ}} = 0.9.$$

Опираясь на изложенные результаты анализа, получены рекомендации по определению потребного числа путей в парке отправления, представленные в выводах, обеспечивающие практически беспрепятственный приём поездов в этот парк, исходя из среднего времени занятия пути составом, с добавлением не менее 2.5 среднеквадратических отклонений числа поездов в парке.

Заключение

Выполненное исследование позволило сделать следующие основные выводы:

1. Комплексность системы расчёта технико-технологических параметров работы сортировочной станции состоит в совместном рассмотрении функционирования всех систем обслуживания поездопотока, поступающего в переработку, а также транзитного, с учётом имеющихся взаимосвязей между этими системами в условиях предельных загрузок, вплоть до блокирования их работы ввиду ограниченной ёмкости парков станции. Существующие подходы к решению данной проблемы в силу разных причин не дают точного и быстрого ответа на этот вопрос, что диктует необходимость нахождения иных подходов для решения поставленной задачи.

2. Разработана комплексная система дифференциальных уравнений, описывающих функционирование всех основных систем обслуживания станции и позволяющих проводить расчёт технико-технологических параметров работы сортировочной станции для заданного технического оснащения, действующего плана формирования и заданной технологии работы станции.

Найдены пути устранения сложностей в применении непрерывного исчисления к дискретным процессам, связанные с определением общего вида функций интенсивностей обработки поездопотока во всех системах обслуживания, проверкой значений этих функций в особых точках, применением численных методов решения дифференциальных уравнений для нахождения количества поездов в системах обслуживания в любой момент времени.

3. На основании программы, представляющей собой реализацию разработанной методики, установлена количественная взаимосвязь между изменением числа составов находящихся в системах обслуживания поездопотока на станции от загрузки систем во всем возможном диапазоне изменения загрузки, включая предельные. Установлена количественная взаимосвязь, позволяющая проводить расчёт потребного числа путей в парках станции на основе среднеквадратических отклонений от среднего числа занятых путей с учётом компенсации недостатка мощности одних систем, избытком мощности других.

4. Рекомендуется при загрузках систем обработки поездов в парке приёма до величины 0,75 дополнительно к среднему значению добавлять 3 пути, которые обеспечат практически беспрепятственный прием поездов на станцию. Если одна из систем обслуживания в парке приема загружена больше указанной величины 0,75 (или обе системы), в диапазоне 0,75-0,8 добавлять 4 пути, в диапазоне загрузок 0,8-0,9 – 5 путей, а в диапазоне 0,9-1 для практически беспрепятственного приема необходимо дополнительно 6 путей.

5. Установлена количественная взаимосвязь между изменением числа составов находящихся в парках станции во времени и загрузкой систем, как при отсутствии, так и в условиях наличия технологических перерывов в работе отдельных систем, а также их влияние на функционирование смежных систем во всём возможном диапазоне загрузок, включая предельные. Технологический перерыв в работе сортировочной горки по расформированию поездов, длительностью 1 час, увеличивает среднюю очередь в ожидании расформирования в условиях предельных загрузок в 2.5 раза. Перерыв в работе одного из маневровых локомотивов по формированию поездов такой же длительности, в аналогичных условиях, увеличивает среднюю очередь только на 15%. При загрузке системы «отправления» более величины 0.7, увеличение загрузки системы обеспечения поездами локомотивами более 0.75 приводит к росту в 1.5 раза очереди в ожидании отправления на участок.

6. В условиях беспрепятственного вывода составов в парк отправления и небольших загрузок маневровых локомотивов дополнительная емкость сортировочного парка по отношению к среднезанятой может быть определена с учетом коэффициентов 1.5-1.58. При увеличении загрузок в работе маневровых локомотивов более 0.7 данный коэффициент уменьшается до величин 1.3-1.38. При предельных загрузках маневровых локомотивов (более 0.9) значение данного коэффициента ограничивает максимальная вместимость сортировочного парка. Нехватка путей парка отправления приводит к росту в 1.5 раза трех очередей, составляющих общую очередь в ожидании обработки в парке отправления, что объясняется влиянием числа путей в парке отправления на характеристики смежной системы на сортировочной станции.

7. Расчеты позволили определить повышающий коэффициент к значению средней очереди в ожидании отправления в условиях наличия «окна» для проведения ремонтных работ на прилегающем участке. Значение этого коэффициента меняется в диапазоне от 1.6 до 2.1 при увеличении продолжительности «окна» от 4 до 6 часов.

8. Совместное рассмотрение функционирования всех систем обслуживания поездопотока на сортировочной станции за счёт комплексности решения проблемы дает возможность определить набор рациональных уровней загрузки различных систем, определяющих одно и то же значение технико-технологических показателей работы станции, предопределяя множество таких вариантов. Расчёта для таких вариантов дают возможность лучшим образом учитывать ограничения при выборе окончательных решений в условиях изменения объема работы, действующего плана формирования и технологии работы сортировочной станции.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Минаков П.А. Использование дифференциальных уравнений при расчёте времени нахождения вагонов на технических станциях // Сборник трудов научно-практической конференции «Наука МИИТа – транспорту – 2008» 2008 г. – с. V37 – V38.
2. Минаков П.А. Использование дифференциальных уравнений для определения технико-технологических параметров работы сортировочных станций // Сборник трудов научно-практической конференции «Наука МИИТа – транспорту – 2009» 2009 г. – с. VII57 – VII58.
3. Минаков П.А. Использование дифференциальных уравнений для определения технико-технологических параметров работы сортировочной станции. // НТТ– Наука и техника транспорта. – 2012г. – №3. – С. 19-24.
4. Минаков П.А. Взаимодействие основных систем обслуживания поездопотока в парке приёма сортировочной станции // Железнодорожный транспорт– 2012г. – № 9. – С. 25-27.

Минаков Павел Андреевич

**ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ
В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ЗАГРУЗОК**

АВТОРЕФЕРАТ

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок

Подписано к печати // .01.13 Формат 60х90/16

Заказ №617/Усл.печ.л1,5 Тираж 80 экз.

УПЦ ГИ МИИТ 127994, Москва, ул. Образцова 9, стр.9.