

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА

УДК 656.22

**ФЕДОРОВ**  
Евгений Александрович

**ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПИСАНИЯ  
ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ  
МОДЕЛЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.22.08 – Управление процессами перевозок

**Гомель, 2022**

Научная работа выполнена в учреждении образования  
«Белорусский государственный университет транспорта»

Научный руководитель **Кузнецов Владимир Гаврилович**,  
кандидат технических наук, доцент, доцент  
кафедры «Управление эксплуатационной ра-  
ботой и охрана труда» учреждения образова-  
ния «Белорусский государственный универ-  
ситет транспорта»

Официальные оппоненты **Числов Олег Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор, заведу-  
ющий кафедрой «Станции и грузовая ра-  
бота» федерального государственного бюд-  
жетного образовательного учреждения выс-  
шего образования «Ростовский государ-  
ственный университет путей сообщения»

**Аземша Сергей Александрович**,  
кандидат технических наук, доцент, заведу-  
ющий кафедрой «Управление автомобиль-  
ными перевозками и дорожным движением»  
учреждения образования «Белорусский госу-  
дарственный университет транспорта»

Оппонирующая организация Кафедра «Управление эксплуатационной ра-  
ботой и безопасностью на транспорте» феде-  
рального государственного автономного об-  
разовательного учреждения высшего образо-  
вания «Российский университет транспорта»

Защита состоится «12» мая 2022 г. в 16:00 на заседании совета по защите  
диссертаций Д 02.27.01 при учреждении образования «Белорусский государ-  
ственный университет транспорта» по адресу: 246653, г. Гомель, ул. Ки-  
рова, 34, ауд. 240, тел. (+375 232) 95-37-91, факс. (+375 232) 95-36-89, e-mail:  
cherninri@gmail.com.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке учре-  
ждения образования «Белорусский государственный университет транспорта».

Автореферат разослан « 11 » апреля 2022 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



Р.И. Чернин

## ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции совершенствования организации перевозок связаны с существенным развитием международной и трансъевропейской логистики перевозок грузов. На железнодорожном транспорте они приводят к изменению структуры и способов организации движения поездов, повышению требований к скоростям доставки грузов, необходимости согласования по времени подвода грузовых поездов к пунктам передачи груза между различными видами транспорта, железнодорожными администрациями (ЖДА) или станциям выгрузки груза клиентам, перегруза груза из вагона в вагон (при взаимодействии колеи 1520 и 1435 мм).

Расширение операторской деятельности по предоставлению вагонов для перевозки грузов, формирование новых и развитие существующих логистических схем перемещения вагонов и грузов требует наличия организационных и технологических инструментов адаптации перевозочного процесса к изменениям моделей использования подвижного состава.

Научно-методическую основу перевозочного процесса на железнодорожном транспорте составляют методы рациональной организации вагонопотоков в поезда на железнодорожных станциях по плану формирования (ПФ) и их пропуска на участках инфраструктуры по графику движения поездов (ГДП).

При организации вагонопотоков значительную долю занимают перевозки в специализированных поездах (в том числе контейнерных), клиентских поездных формированиях, а также отправительских маршрутах, для которых предъявляются особые требования к скорости, частоте курсирования и времени предъявления к перевозке. Такие поезда в ПФ выделяются в отдельные категории, а условия их пропуска необходимо устанавливать для определенного назначения ПФ маршрута следования на основе специализированных расписаний в ГДП.

Для повышения эффективности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте необходимо организовать системно согласованный пропуск грузовых поездов по маршрутам следования в соответствии с установленной ПФ структурой поездных назначений и запросами участников перевозочного процесса.

В диссертационном исследовании предлагается при организации перевозочного процесса использовать систему расписания движения грузовых поездов, основанную на переходе к новому типу ГДП – процессно-объектному, в котором с использованием принципов процессного подхода устанавливается специализированное постоянное расписание пропуска грузовых поездов по маршрутным и сквозным назначениям ПФ. Единая технология перевозочного процесса (ЕТПП), реализуемая на основе полученного расписания, гарантирует соответствие условий пропуска грузовых поездов на расчетном железнодорожном полигоне требованиям применяемых моделей использования подвижного состава.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с научными программами (проектами), темами**

Исследования и научно-технические разработки по теме диссертации выполнялись в соответствии с Государственной программой развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы (Постановление Совета Министров РБ от 28.04.2016 г. № 345), Стратегией инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года (Приказ Министерства транспорта и коммуникаций РБ от 25.02.2015 г. № 57-Ц).

При непосредственном участии автора и с использованием положений диссертации выполнены следующие НИР.

1. Факторный анализ эффективности функционирования железнодорожного транспорта Республики Беларусь, определение направлений устойчивого развития отрасли, оценка рисков принятия предлагаемых преобразований (№ 13166 от 19.08.2019 г., № ГР 20192639).

2. Технологическое обеспечение разработки технического проекта и рабочей документации на автоматизированную подсистему увязки составообразования на технических станциях с прогнозным графиком движения на железнодорожных участках УСОГДП (№ 6100 (КТЦ/Ю-1380) от 01.09.2009 г.).

3. Разработка технологии эксплуатационной работы Белорусской железной дороги на участках инфраструктуры в рамках ЕЭС (№ 9317 от 20.08.2014 г.).

4. Разработка стандарта организации «Порядок разработки графика движения поездов на Белорусской железной дороге» (№ 10497 (Д/Ю-321) от 12.04.2016 г.).

5. Разработка автоматизированной системы построения энергоэффективных графиков движения поездов и системы моделирования пропуска поездов на направлениях с расчетом параметров оценки энергоэффективности графика движения поездов и его интеграция в АС «Графист» (№ 11768 (Д/Ю-56) от 19.01.2018 г.).

6. Разработка технологии организации движения грузовых поездов по постоянному расписанию на участках инфраструктуры Белорусской железной дороги (№ 12511 (Д/Ю-670) от 14.11.2018 г.).

### **Цель и задачи исследования**

*Целью* диссертационной работы является разработка системы организации движения грузовых поездов на железнодорожном полигоне по маршрутным и сквозным назначениям ПФ, обеспечивающей их гарантированный пропуск в пределах имеющихся возможностей инфраструктуры в соответствии с параметрами применяемых перевозчиками и владельцами вагонов моделей использования подвижного состава.

#### *Основные задачи исследования:*

1. Выполнить комплексный анализ системы организации движения грузовых поездов по расписанию на железнодорожном полигоне.

2. Развить метод формирования и реализации поездных заявок перевозчиков, определяющих необходимые условия для организации движения поездов маршрутных и сквозных назначений ПФ по расписанию, и усовершенствовать организационный цикл разработки ГДП.

3. Определить условия и разработать методику декомпозиции полигона на расчетные железнодорожные направления для моделирования расписаний пропуска грузовых поездов.

4. Установить новые условия формирования ГДП и разработать методику согласования расписания пропуска грузовых поездов с учетом множества характеристик образования вагонопотока и условий его пропуска по маршрутам следования.

### **Научная новизна диссертационного исследования**

Разработана методика формирования системы расписания движения грузовых поездов, позволяющая организовать пропуск поездов маршрутных и

сквозных назначений ПФ на всем маршруте их следования по расписаниям в пределах железнодорожных полигонов любой сложности и конфигурации.

Определены особенности выполнения перевозочного процесса в условиях работы с приватным вагонным парком при большом количестве операторов и неопределенности плановых вагонопотоков.

Обоснованы требования к ГДП, обеспечивающие эффективную реализацию модели использования подвижного состава в вертикально-интегрированной системе управления перевозочным процессом.

Практическая значимость полученных в диссертационном исследовании результатов заключается в возможности:

- интегрированной разработки ГДП на ОИ, объединенных в расчетные железнодорожные направления, на основании новых подходов к определению условий прокладки поездов;

- организации движения грузовых поездов по согласованным на всем маршруте следования постоянным расписаниям, обеспечивающим более высокую маршрутную (участковую) скорость и меньшее число остановок для обгонов и скрещений поездов для регулярно используемых расписаний;

- распределения расписаний пропуска заявленных грузовых поездов на маршрутах следования по интервалам времени исходя из уровня использования пропускной способности инфраструктуры и кластеризации поездов по приоритету.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Метод адаптации ГДП к расписаниям пропуска грузовых поездов по маршрутам следования на инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования.

2. Методика декомпозиции полигона инфраструктуры железной дороги на расчетные железнодорожные направления.

3. Технология формирования и реализации поездных заявок перевозчиков в организационном цикле разработки ГДП.

4. Методика комплексного анализа системы организации движения грузовых поездов по постоянному расписанию.

### **Личный вклад соискателя**

Автором диссертации совместно с руководителем определена цель и выполнена постановка задач исследования. Автором лично решены поставлен-

ные в диссертационном исследовании задачи, проведена апробация разработанных методик, анализ полученных и статистических данных, а также внедрены полученные результаты.

### **Апробация результатов диссертации**

Научные результаты диссертации отражены в опубликованных печатных работах соискателя, докладывались и обсуждались на научных мероприятиях: открытых научных семинарах кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда» УО БелГУТ; Международной научно-практической конференции «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (Санкт-Петербург, 2019); Международной научно-практической конференции «Тихомировские чтения: Инновационные технологии перевозочного процесса» (Гомель, 2018); Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 2015, 2017, 2018, 2019); Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (Гомель, 2013); Международной научно-технической конференции «Информационные технологии и системы 2016 (ИТИС 2016)» (Минск, 2016); Международной практической конференции «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом» (Москва, 2015); международной научно-практической конференции «Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе» (Новосибирск, 2012); международной научно-практической конференции «Техническое регулирование на железнодорожном транспорте» (Днепропетровск, 2007). Научные результаты диссертации отражены в учебном процессе УО «БелГУТ».

### **Опубликование результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 19 научных работ общим объемом 8,6 авторского листа, в том числе 10 статей в рецензируемых изданиях, которые ВАК рекомендует для опубликования результатов диссертаций, 2 статьи в сборниках научных трудов, 7 тезисов докладов научных конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 174 страницах. Объем, занимаемый 41 рисунками и 6 таблицами, составляет 25 страниц. Библиографический список состоит из 139 наименований, включая 19 публикаций соискателя, и занимает 12 страниц.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**В первой главе** выполнен анализ существующих научных и практических подходов к организации перевозочного процесса на инфраструктуре железнодорожного транспорта. Проанализированы и систематизированы актуальные требования к организации поездной работы на железных дорогах Республики Беларусь, государств, входящих в состав ЕАЭС и других международных сообществ.

Роль ПФ и ГДП как технологической основы перевозочного процесса на протяжении многих лет исследовалась ведущими учеными в области эксплуатации железных дорог: Абрамовым А. А., Аветикьяном М. А., Агеевым Р. В., Бернгардом К. А., Бородиным А. Ф., Воробьевым Н. А., Грунтовым П. С., Дьяковым Ю. В., Ерофеевым А. А., Иванчиным С. Ю., Каретниковым А. Д., Кобдиком М. А., Котенко А. Г., Кузнецовым В. Г., Левиным Д. Ю., Максимовичем Б. М., Мамонтовым И. Ю., Негреем В. Я., Некрашевичем В. И., Никитиным А. В., Норбоевым А. Р., Сотниковым Е. А., Сотниковым И. Б., Суюнбаевым Ш. М., Тихомировым И. Г., Цуцковым Д. В., Чернюговым А. Д., Чечулиной Ю. А., Шапкиным И. Н., Шенфельдом К. П. и др.

Исследования в сфере рациональной организации вагонопотоков, неохваченных организованными по заявкам клиентов отправительскими маршрутами (разработка ПФ), направлены на поиск оптимального решения по организации их пропуска через попутные технические станции без переработки в составах грузовых поездов сквозных назначений.

Задача разработки ГДП, как правило, рассматривается и решается локально в пределах железнодорожного участка. Организация пропуска грузовых поездов по назначениям ПФ при этом рассматривается преимущественно с позиции обеспечения соответствия наличной и потребной пропускной способности на участке и достаточности количества ниток ГДП для пропуска поездов различных категорий.

Большинство исследований в области теории взаимодействия железнодорожных технических станций и примыкающих участков направлены на решение локальных задач оптимизации технологии работы технической станции. Такие постановки задачи не ориентированы на определение порядка и условий пропуска грузовых поездов по назначениям ПФ на железнодорожном полигоне. Вместе с тем в ряде исследований доказана эффективность применения



полигонных технологий при разработке ГДП, но они направлены на оптимизацию использования перевозочных ресурсов в пределах железнодорожных полигонов, которые образованы по территориальному или функциональному признаку (например, участки обращения локомотивов). Технология перевозочного процесса на таких полигонах слабо коррелирует со структурой ПФ, а проблема согласования пропуска грузовых поездов по назначениям ПФ остается актуальной для технических станций.

В практике перевозочного процесса устанавливаются новые требования к пропуску грузовых поездов на железнодорожных полигонах, обусловленные применением операторами и собственниками вагонов моделей их использования с целевыми приоритетами, определяемыми параметрами транспортно-логистических цепей поставок перевозимых грузов (регулярность во времени и объеме, повышение скорости доставки грузовых отправок, применение узкоспециализированного подвижного состава и др.).

В структуре ПФ значительную долю занимают перевозки в специализированных поездах (в том числе контейнерных, контрейлерных), клиентские поезда формирования, а также отправительские маршруты, для которых предъявляются особые требования к скорости, частоте курсирования и времени предъявления к перевозке, в том числе и по специализированным расписаниям на всем маршруте следования. Так, в период с 2017 по 2020 год на Белорусской железной дороге (БЧ) число контейнерных поездов увеличилось на 62,7 %, уровень маршрутизации на ряде станций массового зарождения потока превышает 50 %, число поездов сквозных назначений ПФ в среднем в 2 раза превышает число участковых.

В результате анализа исполненного ГДП на БЧ в 2015–2020 гг. установлен невысокий уровень соответствия нормативных ниток ГДП фактическим потребностям в согласованном расписании пропуска поездов маршрутных и сквозных назначений ПФ по техническим станциям полигона. Возникающее вследствие этого превышение времени обслуживания транзитных поездов относительно нормативных значений на технических станциях значительно (до 15 раз) больше, чем при движении по участкам инфраструктуры.

На основании обобщения результатов научных исследований, опыта и практики реализации перевозочного процесса определено проблемное поле диссертационного исследования, которое состоит в повышении эффективности организации сквозного пропуска множества грузовых поездов различных

категорий, установленных в ПФ, за счет формирования системы постоянного расписания движения грузовых поездов, основанной на ГДП нового типа. Она должна устанавливать согласованный с техническими, эксплуатационными и иными условиями организации перевозочного процесса порядок пропуска грузовых поездов по маршрутным и сквозным назначениям ПФ в соответствии с применяемой моделью использования подвижного состава.

Существующие методы разработки ГДП, основанные на объектно-ориентированных подходах, не позволяют в полной мере решить поставленную проблему. На основании установленных в диссертационном исследовании особенностей (таблица 1) предложено использовать принципы процессного подхода для разработки ГДП на железнодорожном полигоне с учетом специализации назначений ПФ.

**Во второй главе** разработан метод адаптации ГДП к расписаниям пропуска грузовых поездов по маршрутам следования на инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования, в котором использованы преимущества процессного подхода при разработке ГДП для обеспечения выполнения заявляемых требований участников к организации движения грузовых поездов. Метод позволяет упорядочить характеристики и параметры грузовых поездов, условия их образования на технических станциях и пропуска по железнодорожному полигону, а также учесть ограничения в использовании пропускной способности ОИ.

ГДП, разработанный на основе систематизированных по параметрам поездных заявок кластеров поездов, определяет расписания пропуска грузовых поездов по маршрутам следования и является процессно-объектным (ПО-ГДП). Он обладает свойствами, необходимыми для выполнения участниками требований ЕТПП, за счет распределения пропускной способности ОИ с учетом системы приоритетов процессов пропуска поездов и их взаимосвязи во времени.

В структуре метода выделены следующие компоненты:

1) идентификация процессов поездной работы на полигоне железной дороги как упорядоченное во времени и пространстве множество событий, связанных с перемещением каждого заявленного грузового поезда на маршруте следования по ПФ;

2) кластеризация расписаний следования грузовых поездов по степени однородности требований к условиям их пропуска на полигоне;

Таблица 1. – Сравнение подходов к разработке ГДП

Объектно-ориентированный подход (применяемый)	Процессный подход (предлагаемый)
Объект моделирования	
Участок инфраструктуры, выделенный по территориальному или организационному признаку.	Процесс пропуска поездов по установленным в ПФ маршрутам следования на полигоне, образованном совокупностью участков инфраструктуры.
Принцип определения полигона разработки ГДП	
Агрегирование совокупности смежных участков инфраструктуры в соответствии со структурой оперативного управления и (или) полигонами тягового обслуживания.	Декомпозиция полигона на расчетные железнодорожные направления, соответствующие заявляемым перевозчиками маршрутам следования по назначениям ПФ.
Структурирование поездопотока	
Система категорий поездов, основанная на унифицированных требованиях к составам поездов (вес, длина) и скорости их следования.	Система кластеров поездов, формируемых на основании расширенного перечня изменяющихся характеристик поездов в соответствии с поездными заявками клиентов.
Распределение пропускной способности участка инфраструктуры	
Прокладка максимально ожидаемого количества унифицированных расписаний пропуска грузовых поездов с соблюдением принципа их равномерного распределения в течение расчетного периода (суток) без категорирования ниток грузовых поездов и учета вариативных требований к пропуску поездов.	Прокладка ниток пропуска грузовых поездов с соблюдением нормативов и расчетного приоритета, установленных для кластеров грузовых поездов, составляющих постоянное ядро ГДП. Прокладка унифицированных расписаний при распределении резервов пропускной способности ОИ.
Способ моделирования расписаний пропуска грузовых поездов	
Определение расписаний прибытия и отправления поездов на технической станции посредством подбора наиболее подходящих пар из независимых наборов расписаний на участках инфраструктуры по усредненному нормативу времени обслуживания. Специализация расписаний пропуска грузовых поездов посредством выбора из установленного множества вариантов.	Комплексное сквозное моделирование специализированных расписаний пропуска множества поездов по маршрутам следования с учетом ПФ, времени их предъявления на инфраструктуру и увязкой по техническим станциям моделируемого полигона на основании заявленных перевозчиком параметров времени обслуживания.
Единая технология перевозочного процесса	
Взаимодействие технической станции с примыкающими участками инфраструктуры рассматривается как локальная задача оптимизации. Ресурсы для организации движения поездов обеспечиваются балансовым наличием, что приводит к избыточным ресурсам (т. е. снижение производительности ресурсов) или недостаткам (т. е. возникновению задержек в обслуживании).	Организация работы технических станций и планирование ресурсов производится исходя из потребностей процесса пропуска поездов по маршрутам следования. Ресурсы для организации движения поездов распределяются для полигона комплексно с привязкой к расписаниям пропуска грузовых поездов.
Основная функция диспетчерского управления	
Оперативное распределение пропускной способности участков инфраструктуры для пропуска грузовых поездов, предъявляемых станциями составообразования по результатам разработки текущих планов работы.	Контроль реализации процессов пропуска грузовых поездов по маршрутам следования. Операционное управление при отклонении процесса от установленного расписания.

3) методика моделирования процессов поездной работы с учетом взаимного воздействия потока грузовых поездов и ограничений в использовании пропускной способности ОИ.

Для идентификации процессов поездной работы введено понятие поездной заявки  $Z_N$ , в которой перевозчик на основе параметров транспортного по-

тока и структуры назначений ПФ определяет параметры времени предъявления и обслуживания заявляемого множества поездов на ОИ для их перемещения по установленным маршрутам следования:

$$Z_N = \left\{ (\overrightarrow{p; q}); N_{(p; q)}(t); T_{(p; q)}^D; \left\{ s, T_s \right\} \right\}, \quad (1)$$

где  $(\overrightarrow{p; q})$  – маршрут следования поездной заявки от станции формирования  $p$  до станции назначения  $q$ ;

$N_{(p; q)}(t)$  – распределенное по времени потребное количество расписаний для реализации в ПОГДП поездной заявки по назначениям ПФ перевозчика;

$T_{(p; q)}^D$  – предельно допустимый срок следования заявленного перевозчиком грузового поезда по маршруту  $(p; q)$ ;

$T_s$  – минимальное время обслуживания заявленного поезда на  $s$ -м ОИ.

Кластеризацию расписаний следования грузовых поездов предлагается проводить по разработанной с использованием метода Штейнгауза – Ллойда процедуре на основе установленных в поездных заявках параметров, а также степени безусловного приоритета пропуска отдельных категорий поездов по инфраструктуре  $\xi$  (например, приоритет пассажирского движения над грузовым), применяемого оператором инфраструктуры.

Установлено аналитическое выражение для определения времени стоянок одной пары грузовых поездов кластера на промежуточных станциях как функции числа и скорости движения грузовых поездов в кластере:

$$T_{\text{стк}} = \frac{(T'_{\text{хк}} + T''_{\text{хк}}) \cdot \left[ N_{\text{гр}} \cdot \alpha_k \cdot t_{\text{ск}} + N_{\text{пс}} \cdot \left[ (1 + \Delta_{\text{пск}}) \cdot t_{\text{ск}} + (1 - \Delta_{\text{пск}}) \cdot t_{\text{об}} \right] + \sum_{i=1}^{k-1} N_{\text{гр}} \cdot \alpha_i \cdot \left[ (1 + \Delta_{ik}) \cdot t_{\text{ск}} + (1 - \Delta_{ik}) \cdot t_{\text{об}} \right] \right]}{1440 - \left( N_{\text{пс}} + \sum_{i=1}^k N_{\text{гр}} \cdot \alpha_i \right) \cdot t_{\text{ск}} - \left( N_{\text{пс}} + \sum_{\Delta_{ik} \neq 1} N_{\text{гр}} \cdot \alpha_i \right) \cdot t_{\text{об}}}, \quad (2)$$

где  $T'_{\text{хк}}, T''_{\text{хк}}$  – время хода пары поездов кластера  $k$  по участку инфраструктуры без учета остановок на промежуточных станциях, мин;

$N_{\text{гр}}, N_{\text{пс}}$  – число пар грузовых и пассажирских поездов, пропускаемых по участку, пар поездов;

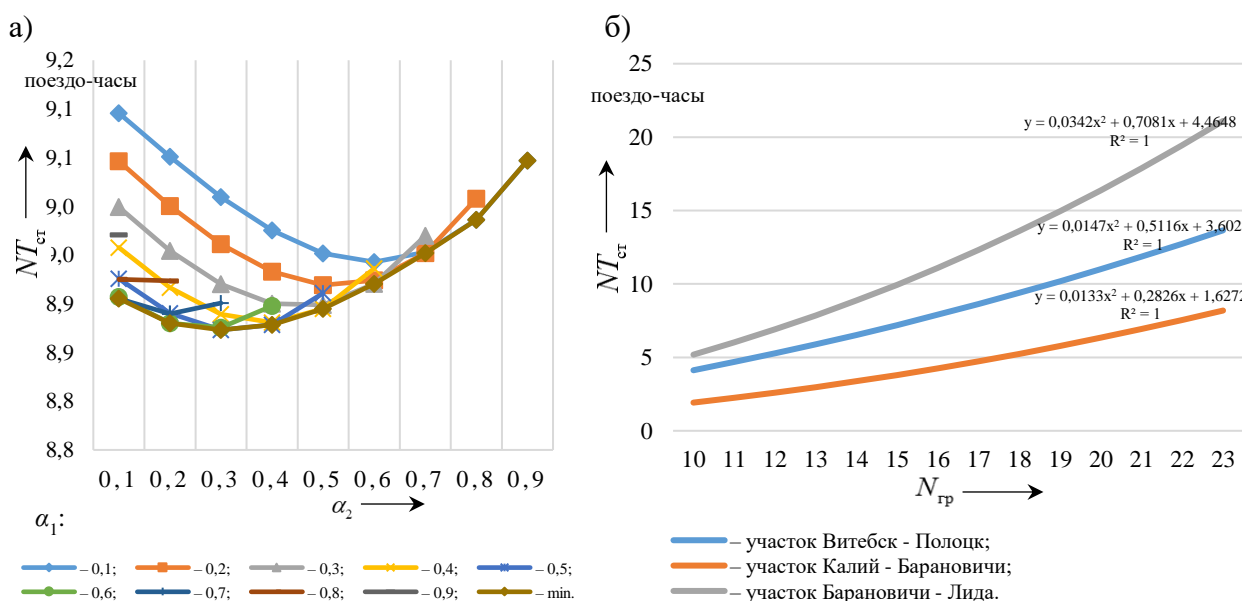
$t_{ск}, t_{об}$  – средняя продолжительность стоянки поезда соответственно при скрещении и под обгоном (включая разгон и замедление), мин;

$\alpha_i$  – доля грузовых поездов в  $i$ -м кластере;

$\Delta_{пск}$  – отношение времени хода пассажирских и грузовых поездов  $k$ -го кластера;

$\Delta_{ik}$  – отношение времени хода поездов в  $i$ -м и  $k$ -м кластерах.

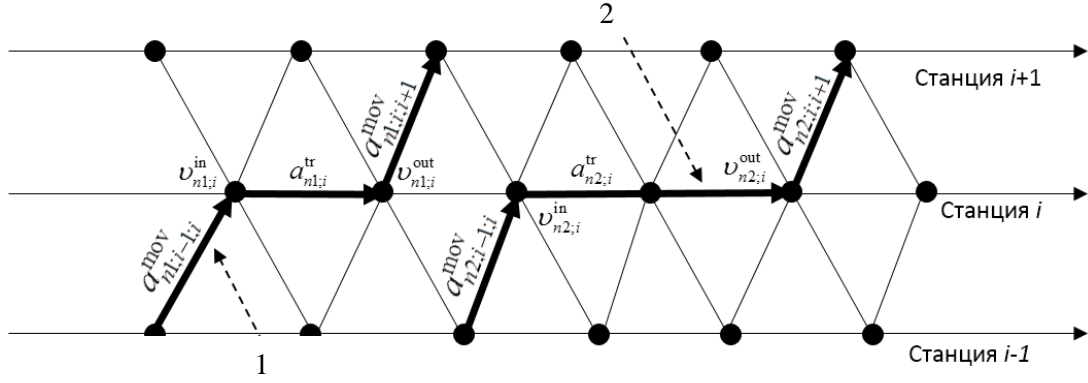
В результате исследования изменения совокупных затрат времени на стоянки грузовых поездов на промежуточных станциях при кластеризации множества грузовых поездов на 2 и 3 кластера доказана возможность минимизации этих затрат при разработке ГДП на однопутных участках инфраструктуры. Минимум достигается при распределении грузовых поездов по кластерам в соотношении  $\alpha_1=0,5, \alpha_2=0,3, \alpha_3=0,2$  (рисунок 1, а), зависимость от общего числа грузовых поездов, пропускаемых по участку, близка к квадратичной с коэффициентом детерминации  $R^2 > 0.99$  (рисунок 1, б).



а) участок Барановичи – Лида; б) изменение общих размеров движения грузовых поездов

Рисунок 1. – Зависимость затрат времени на обгоны и скрещення от распределения по группам приоритета пропуска грузовых поездов, пропускаемых по однопутному участку

Моделирование пропуска поездов выполняется последовательно для каждого установленного кластера. Задача решается на железнодорожном полигоне, определенном графом  $G$  в соответствии с принципами топологии Mesh-сетей. В пределах кластера осуществляется поиск оптимальных путей, соответствующих маршрутам следования, по критерию минимизации суммарного превышения установленных эталонных (нормативных) значений времени их пропуска в пространственно-временном направленном графе расписаний  $\bar{G} = (\bar{V}, \bar{A})$  (рисунок 2). Решетка графа состоит из вершин отправления  $v_{it}^{out}$  и прибытия  $v_{it}^{in}$  поездов на технические станции  $i \in S$  в моменты времени  $t$ , соединенных ребрами движения по участкам инфраструктуры  $a_{nij}^{mov} = (v_{it'}^{out}, v_{it''}^{in})$  и стоянки на технических станциях  $a_{ni}^{tr} = (v_{it'}^{in}, v_{it''}^{out})$ .



1 – расписание поезда  $n1$ ; 2 – расписание поезда  $n2$

Рисунок 2. – Фрагмент плоской треугольной решетки модельного образа ГДП в графе  $\bar{G}$

Множество вершин графа формируется для каждой станции в пределах интервалов времени, определяемых ограничениями в использовании пропускной способности ОИ для поездов рассматриваемого кластера:

– для вершин прибытия поездов:

$$N_{s_i, k}^H(t) > 0, \forall t \in T_{s_i, k}^{\text{приб}} = [t_1^{s_i}; t_2^{s_i}], [t_3^{s_i}; t_4^{s_i}], \dots, [t_{n-1}^{s_i}; t_n^{s_i}]; \quad (3)$$

– для вершин отправления поездов:

$$N_{(s_i; s_j), k}^H(t) > 0, \forall t \in T_{(s_i; s_j)}^{\text{отпр}} = [t_1^{(s_i; s_j)}; t_2^{(s_i; s_j)}], [t_3^{(s_i; s_j)}; t_4^{(s_i; s_j)}], \dots, [t_{n-1}^{(s_i; s_j)}; t_n^{(s_i; s_j)}], \quad (4)$$

где  $N_{s_i,k}^H(t)$ ,  $N_{(s_i;s_j),k}^H(t)$  – наличная пропускная способность станции  $s_i$  по приему и участка  $(s_i;s_j)$  по отправлению поездов кластера  $k$  соответственно.

Поиск оптимальных путей для множества поездов  $N_k$  производится разработанным в диссертационном исследовании алгоритмом, основанным на использовании метода ветвей и границ Хиггинса, эвристических алгоритмов Кая и Сахина. На каждом шаге моделирования локально оптимальное решение представляет собой набор пар ребер графа  $(a_{n,s}^{\text{tr}(k)}, a_{n,s,(s+1)}^{\text{mov}(k)})$ , определяемых с учетом параметров взаимодействия технологических процессов и ограничений пропускной способности ОИ и описывающих переход каждого моделируемого поезда  $n$  на следующую техническую станцию маршрута следования с минимально возможным превышением установленных технологических нормативов:

$$(a_{n,s}^{\text{tr}(k)}, a_{n,s,(s+1)}^{\text{mov}(k)}) : (v_{n,s,t}^{\text{in}(k-1)}) \rightarrow (v_{n,(s+1),t}^{\text{in}(k)}), \quad (5)$$

где  $v_{n,s,t}^{\text{in}(k-1)}$  – вершина графа, соответствующая времени  $t$  прибытия поезда  $n$  по ребру на  $s$ -ю станцию маршрута следования, определенному на  $(k-1)$  шаге моделирования.

В результате реализации алгоритма для каждого заявленного поезда  $n$  устанавливается адаптированное для разработки ГДП расписание, технологически согласованное на всех ОИ маршрута следования:

$$n = \{t_{n,p}^{\text{out}}, t_{n,s_1}^{\text{in}}, \dots, t_{n,(q-1)}^{\text{out}}, t_{n,q}^{\text{in}}\}, \quad (6)$$

где  $t_{n,s_i}^{\text{out,in}}$  – время отправления (out) или прибытия (in) поезда  $n$  на техническую станцию  $s_i$  маршрута следования от станции формирования  $p$  до станции назначения  $q$ .

Для апробации предложенного метода на основании анализа фактических данных о времени поступления и пропуска грузовых поездов за 2017–2019 гг. на полигоне БЧ идентифицированы поездные заявки для разработки нормативного ГДП на 2019–2020 г. В результате выполненной кластеризации расширена

система категорирования грузовых поездов за счет ввода 3 кластеров расписаний для поездов сквозных назначений ПФ.

Моделирование процессов поездной работы выполнено для опытного железнодорожного направления БЧ (Осиновка – Брест) в используемой на БЧ автоматизированной системе разработки нормативных и вариантных ГДП (АС «Графист»). В качестве объекта моделирования приняты расписания пропуска сквозных грузовых поездов двух кластеров с повышенным приоритетом пропуска. В 1-й кластер – «ядро» ПОГДП – включено 20 постоянных расписаний в нечетном направлении и 8 – в четном направлении. 2-й кластер специализирован для обеспечения пропуска сквозных поездов по «факультативным» ниткам и включает 11 и 6 расписаний соответственно. Оптимальные расписания определены по предложенному в исследовании алгоритму и реализованы при разработке ГДП.

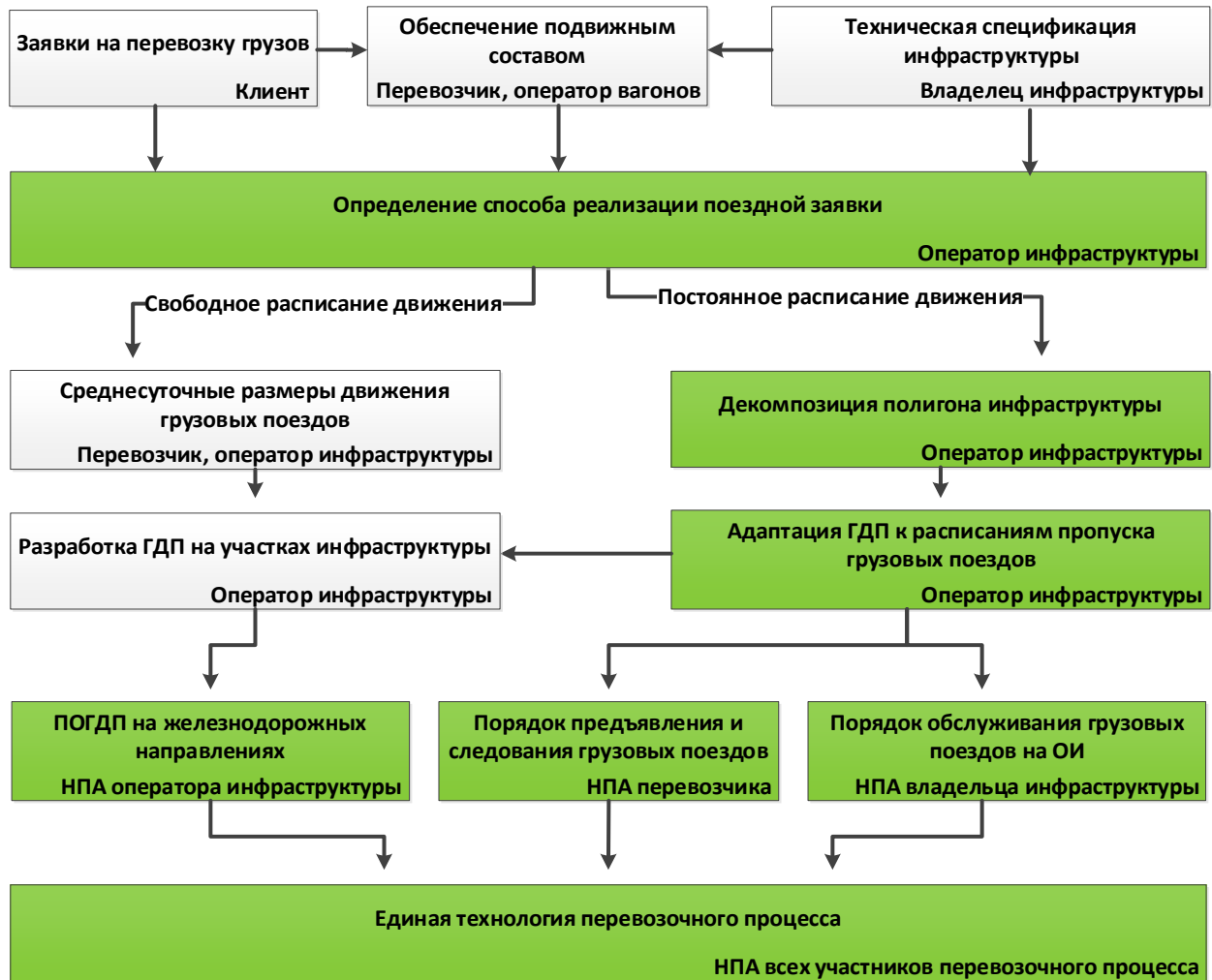
По результатам моделирования в нормативном ГДП достигнуто улучшение качественных характеристик реализации сквозных назначений ПФ за счет согласования их расписаний по техническим станциям: коэффициент скорости на назначении ПФ для расчетного полигона улучшен на  $\Delta\beta_{\text{ПОГДП/ГДП}}^{\text{ПФ}} = 0,10$  за счет сокращения простоя поездов на технических станциях ( $\Delta NT_{\text{ПОГДП/ГДП}}^{\text{ст.}} = 51,7$  поездо-ч/сут); средняя участковая скорость следования поездов повышена на  $\Delta v_{\text{ПОГДП/ГДП}}^{\text{уч.}} = 3,4$  км/ч.

Полученные результаты моделирования показали возможность и обоснованность применения процессного подхода к разработке ГДП при наличии в ПФ поездных назначений, которые по установленными для них критериям подлежат организации движения по постоянному расписанию.

**В третьей главе** с использованием предложенного метода разработана технология формирования и реализации поездных заявок перевозчиков в организационном цикле разработки ГДП, основанная на применении принципов системного подхода к интеграции процессов транспортной деятельности участников в поездной модели ЕТПП.

Предлагаемое совершенствование организационного цикла заключается в дополнении его процедурами определения способа реализации поездных заявок перевозчиков, декомпозиции полигона железной дороги и адаптации ГДП к пропуску грузовых поездов по постоянному расписанию (рисунок 3).





Условные обозначения:

□ - существующая процедура    ■ - предлагаемые дополнения

Рисунок 3. – Изменение организационного цикла разработки ГДП

Процедура определения способа реализации поездных заявок перевозчиков заключается в распределении оператором инфраструктуры множества грузовых поездов в зависимости от заявляемых требований к их пропуску по маршрутам следования на подмножества с постоянным  $N^{\text{ПОГДП}}(p; q)_{ij}$  на всем маршруте следования  $(p; q)$  расписанием, требующим адаптации ГДП, и свободным  $N^{\text{ГДП}}(p; q)_{ij}$  на участках инфраструктуры  $(s_i; s_j)$  расписанием в пределах доступных интервалов времени использования ОИ.

Полученное подмножество поездов  $N^{\text{ПОГДП}}$  является исходным для разработки ПОГДП на полигоне железной дороги. Прокладка ниток движения

грузовых поездов по свободному расписанию в ГДП на участках инфраструктуры организуется оператором инфраструктуры в пределах резервов пропускной способности ПОГДП.

Для разработки ПОГДП на железнодорожном полигоне необходимо установить расчетные железнодорожные направления и определить очередность их моделирования в соответствии со структурой заявленного перевозчиками поездопотока. В диссертационном исследовании разработана методика декомпозиции полигона инфраструктуры железной дороги на расчетные железнодорожные направления, в которой они формируются путем объединения примыкающих к техническим станциям участков инфраструктуры с максимальным на рассматриваемом шаге расчетов значением предложенного индикатора приоритета пропуска поездопотока, выражаемого потребным числом обслуживаний грузовых поездов на технических станциях при их пропуске по маршрутам следования:

$$r_{S_n} = \sum_{i=1}^K N_{k_i}^{S_n} s_{k_i}, \quad (7)$$

где  $N_{k_i}^{S_n}$  – размеры движения поездов  $k_i$ -й поездной заявки направления  $S_n$ ;

$s_{k_i}$  – число транзитных технических станций в маршруте следования поездов  $k_i$ -й поездной заявки.

Железнодорожные направления формируются от технических станций или стыковых пунктов полигона, имеющих устойчивый характер образования вагонопотоков. Каждый шаг декомпозиции определяет очередность моделирования расписаний пропуска грузовых поездов на технических станциях пересечения направлений с учетом величины значения индикатора  $r_{S_n}$ . В каждой последующей итерации расчетов железнодорожным направлениям присваивается меньший приоритет для пропуска поездов, и они формируются с технических станций полигона из участков инфраструктуры, не вошедших в установленные ранее направления. Результатом декомпозиции является определение железнодорожного полигона в виде графа  $G$ , топология которого соответствует установленным в маршрутах следования заявленных грузовых поездов техническим станциям и участкам, а также определяет очередность моделирования ПОГДП на железнодорожных направлениях.

В результате выполненной декомпозиции полигона БЧ (рисунок 4) на основании данных о структуре и размерах движения грузовых поездов за анализируемый период определено 15 расчетных направлений, определены 3 узла их пересечения (Минск, Барановичи, Жлобин), в которых установлен приоритет пропуска для всех грузовых поездов моделируемых кластеров, включающих 27,8 % грузовых поездов сквозных назначений ПФ. Декомпозиция полигона выполнена за 2 шага, на основании которых распределены полученные расчетные железнодорожные направления по приоритету моделирования грузовых поездов в ПОГДП.

На основе сформулированных в диссертационном исследовании принципов системного подхода определена этапность реализации организационного цикла разработки ГДП, позволяющая выполнить комплекс задач по формированию системы постоянного расписания движения грузовых поездов. Определен функционал каждого этапа, совокупность действий участников и система требований к их реализации, структурированы исходные и производные технические и технологические параметры ОИ, подвижного состава, нагрузки на железнодорожные участки и станции, состояния поездной модели.

**В четвертой главе** предложена новая методика комплексного анализа системы организации движения грузовых поездов по постоянному расписанию (КАСОДП), основанная на показателях количества, качества и эксплуатационной надежности системы постоянного расписания движения грузовых поездов. Определены основные факторы, влияющие на превышение нормативного (эталонного) времени пропуска поездов по назначениям ПФ, и предложена их классификация на *организационные*, возникающие при разработке ПОГДП, и *эксплуатационные*, возникающие в процессе пропуска поездов.

В КАСОДП применен принцип декомпозиции пропуска поездов по маршрутам следования на подпроцессы, имеющие привязку к технологическим полигонам (участки обращения локомотивов, локомотивных бригад, обслуживания инфраструктуры и т. п.) участников перевозочного процесса. Это позволяет дать субъектную (по участникам перевозочного процесса) и объектно-сетевую (по ОИ и направлениям) оценку организации движения поездов.

Предложено дополнить анализ оценкой эффективности управляющих воздействий ( $u_{ij}$ ) по снижению влияния негативных факторов ( $f_{ij}$ ) на количество ( $N_{(p;q)_i}$ ) и время пропуска ( $NT_{(p;q)_i}$ ) заявленных поездов перевозчиков по расписаниям ПОГДП.

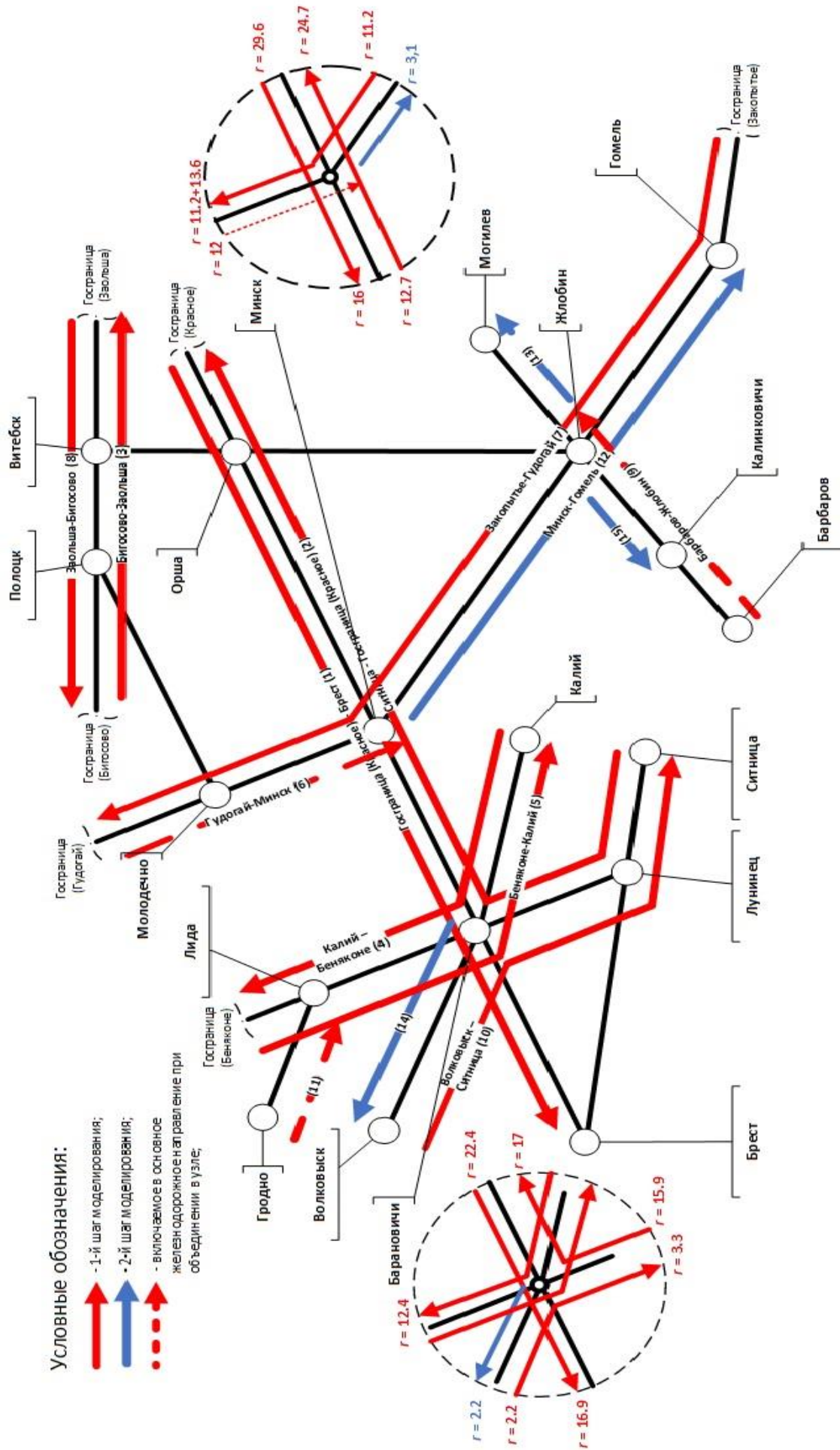
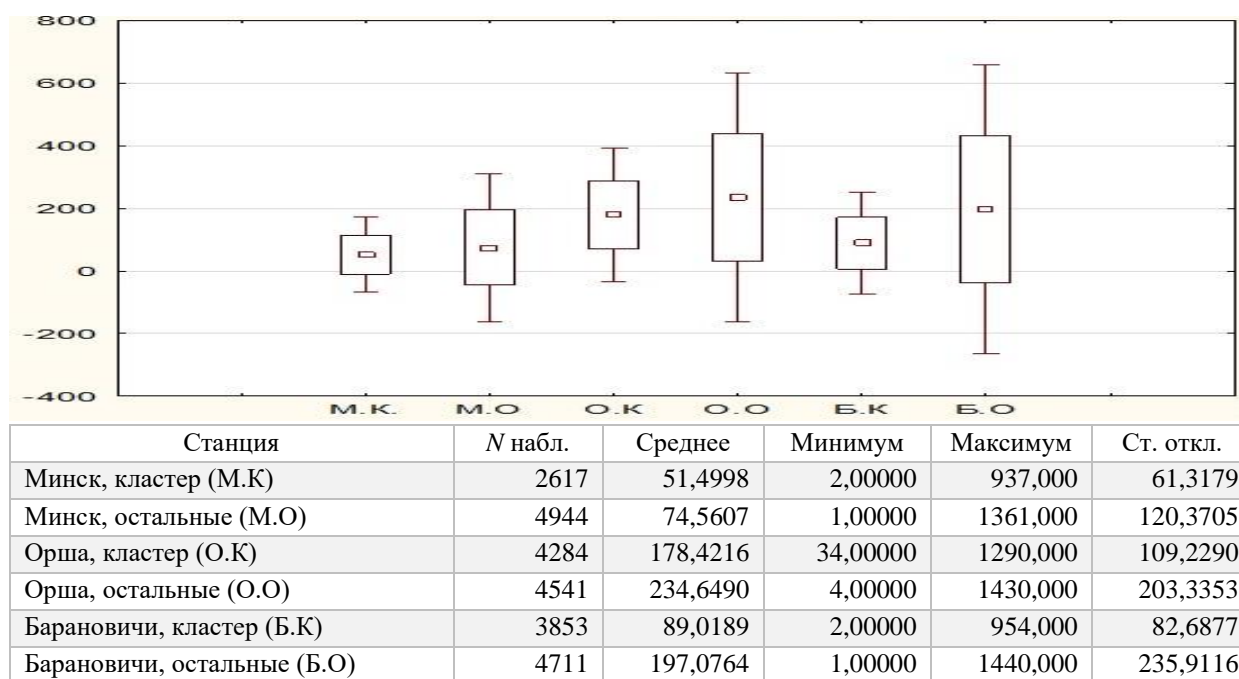


Рисунок 4. – Декомпозиция полигона инфраструктуры БЧ на расчетные железнодорожные направления

Сформулировано условие эффективности применения управляющих воздействий, определяемое из соотношения удельных затрат ( $Z(u_{i1, \dots, n})$ ) на их реализацию с величиной дополнительных издержек ( $I(f_{i1, \dots, n})$ ), связанных с полными (отменой следования по расписанию) ( $-\Delta N$ ) и частичными (задержками поездов) ( $+\Delta NT$ ) отказами в процессе движения:

$$I(f_{i1, \dots, n}) - Z(u_{i1, \dots, n}) = F((-\Delta N ; +\Delta NT) \geq 0. \quad (8)$$

Предложенная методика позволяет комплексно оценить эффективность совместных действий участников перевозочного процесса, направленных на продвижение грузовых поездов по железнодорожному полигону, а также установить влияние каждого из них на соблюдение расписания.



**Рисунок 5. – Простой поездов сквозных назначений ПФ на технических станциях расчетного железнодорожного направления Осинówka – Брест**

Оценка эффективности постоянного расписания с применением предлагаемой методики проведена по структуре грузовых поездов и их параметрам, реализованным в нормативных ГДП 2017–2019 гг. Установлено, что общие потери времени от влияния организационных факторов при организации следования поездов по постоянному расписанию значительно ниже

( $\Delta NT_{\text{ПОГДПЭ}} = 29,9$  поездо-ч/сут), чем по свободному ( $\Delta NT_{\text{ГДПЭ}} = 98,0$  поездо-ч/сут). Средняя скорость поезда на назначении ПФ по постоянному расписанию составила 42,8 км/ч, что на 7,8 км/ч выше, чем при использовании свободного расписания движения грузовых поездов.

По результатам пропуска грузовых поездов сквозных назначений ПФ по постоянному расписанию на опытном полигоне установлено, что стандартное отклонение фактического времени простоя от установленных технологических нормативов на транзитных технических станциях более чем в 1,8 раза меньше простоя грузовых поездов других категорий (рисунок 5). Эффект от применения ПОГДП составил для перевозчика 3,0 тыс. руб./сут, для оператора инфраструктуры 80,6 тыс. руб./сут., для оператора вагонного парка – 24,1 тыс. руб./сут. Совокупный эффект составил 107,7 тыс. руб./сут.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработан метод адаптации ГДП к расписаниям пропуска грузовых поездов по маршрутам следования на инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования [1, 2, 5, 9, 10, 13, 14], отличающийся применением процессного подхода к сквозному моделированию расписаний пропуска грузовых поездов на железнодорожных направлениях. Метод позволяет установить для моделирования ГДП на участках инфраструктуры расписания пропуска грузовых поездов, согласованные по всему множеству взаимосвязанных ОИ. На основе исследований изменений моделей использования вагонов, характеристик и условий движения грузовых поездов по назначениям ПФ обосновано применение кластеризации расписаний грузовых поездов для объекта исследования при разработке ГДП. Установлена новая аналитическая зависимость затрат времени на стоянки грузовых поездов на промежуточных станциях от распределения множества грузовых поездов по кластерам и доказана возможность минимизации этих затрат при разработке ГДП на однопутных участках инфраструктуры. Выполненная апробация метода для сквозных грузовых поездов двух кластеров с максимальным расчетным приоритетом позволила сократить их простои на технических станциях от 20 до 50 % при неизменных условиях пропуска остальных поездов.

2. Разработана методика построения декомпозиции полигона инфраструктуры железной дороги на расчетные железнодорожные направления [4, 8, 16], позволяющая в существующих условиях эксплуатации объекта исследования увеличить полигон моделирования расписаний в ПОГДП более чем в 2,3 раза и обеспечить на ОИ полное использование пропускной способности под поездные заявки, реализовать приоритет пропуска грузовых поездов ядра ГДП, составляющего 27,8 % грузовых поездов сквозных назначений ПФ.

3. Предложена технология реализации поездных заявок перевозчиков в организационном цикле разработки ГДП [2, 7, 11, 15, 18], позволяющая интегрировать процессы транспортной деятельности участников в поездную модель ЕТПП на всем железнодорожном полигоне, определить и регламентировать в виде ПОГДП порядок предъявления и пропуска грузовых поездов по постоянному расписанию. Реализация технологии на исследуемом объекте позволяет улучшить показатели использования инфраструктуры и подвижного состава за счет повышения скорости пропуска грузовых поездов по постоянным расписаниям на маршрутах следования на 22,3 %.

4. Разработана методика комплексного анализа системы организации движения поездов по постоянному расписанию [3, 12, 17, 19], в которой реализованы новые подходы к формированию и расчету показателей ГДП и результатов его выполнения, основанные на оценке пропуска поездов по назначениям ПФ и позволяющие оценить эффективность совместных действий участников перевозочного процесса по реализации поездных заявок в ГДП на железнодорожном полигоне, а также снизить для апробированных в исследовании кластеров грузовых поездов стандартное отклонение фактического времени простоя от установленных технологических нормативов на технических станциях более чем в 1,8 раза.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Результаты диссертационного исследования имеют практическую направленность и нашли применение в сфере организации перевозочной деятельности.

На основании результатов диссертационного исследования определена роль ГДП в составе ЕТПП, являющегося регулятором взаимоотношений участников перевозочного процесса в современных условиях (акт внедрения от 22.07.2020 г. № 27-К15, утв. зам. Министра транспорта и коммуникаций РФ).

Порядок расчета дополнительных затрат времени на обслуживание грузовых поездов применен на БЧ в АС «Графист» для сопоставления параметров следования грузовых поездов по заданным маршрутам при прокладке ниток, специализированных для организации движения поездов по постоянному расписанию. Выполненная работа позволила при разработке нормативного ГДП на 2019/20 год на участках направления Осиновка – Брест установить приоритет контейнерных поездов и разработать не менее 12 специализированных расписаний, обеспечивающих при пропуске по ним грузовых поездов фактическое сокращение стоянок на станциях на 13,4 % (справка о внедрении на БЧ от 09.09.2020 г.).

Внедрение технологии реализации поездных заявок перевозчиков в организационном цикле разработки ГДП в СТП БЧ 15.114–2018 «Порядок разработки графика движения поездов на Белорусской железной дороге» обеспечило повышение качества прокладки ниток движения отдельных категорий грузовых поездов с сокращением режима стоянок на станциях на 15,4 % и увеличение маршрутной скорости на 26 км/сут (акт внедрения на БЧ от 14.02.2020 г.).

Использование метода адаптации ГДП к расписаниям пропуска грузовых поездов по маршрутам следования и методики декомпозиции полигона инфраструктуры на БЧ позволило в 2019–2020 гг. установить постоянное расписание, потребное для организации движения контейнерных поездов направления Восток – Запад – Восток и отправительских маршрутов ОАО «Беларуськалий» с повышением маршрутной скорости контейнерных поездов на 12 км/сут, отправительских маршрутов – на 0,7 км/ч; снизить коэффициент потребности в локомотивах на 6 % с соответствующим повышением производительности грузовых вагонов и локомотивов за счет увеличения среднесуточного пробега на 3 % (акт внедрения на БЧ от 09.09.2020 г.).

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в научных журналах**

1. Ерофеев, А. А. Автоматизированная система УСОГДП / А. А. Ерофеев, Е. А. Федоров, М. В. Федорцов // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 9. – С. 22–27.



2. Кузнецов, В. Г. Оценка структуры поездопотока при организации движения грузовых поездов по постоянному расписанию на участках железнодорожной инфраструктуры / В. Г. Кузнецов, Е. А. Федоров, В. В. Лавицкий, Е. А. Заводцов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 2. – С. 65–69.

3. Федоров, Е. А. Методические подходы к проведению комплексного анализа системы организации движения поездов при реализации процессной модели следования поездов по назначениям плана формирования / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1. – С. 86–90.

4. Федоров, Е. А. Композиция расчетного полигона инфраструктуры железной дороги для процессно-объектного моделирования графика движения поездов / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1. – С. 90–95.

5. Федоров, Е. А. Методологические основы реализации планов формирования поездов перевозчиков в графике движения поездов на полигоне инфраструктуры / Е. А. Федоров // Вестник ВНИИЖТа. – 2018. – № 2. – С. 92–97.

6. Кузнецов, В. Г. Оценка организации перемещения вагонов на инфраструктуре с применением процессно-объектного подхода / В. Г. Кузнецов, Е. А. Федоров, К. И. Гедрис // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 1. – С. 107–112.

7. Федоров, Е. А. Организация перевозочного процесса с использованием процессно-объектного графика движения поездов на инфраструктуре железнодорожного транспорта / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 2. – С. 114–119.

8. Федоров, Е. А. Структурная композиция транспортных потоков при их интеграции в поездообразование и график движения поездов / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1. – С. 55–60.

9. Федоров, Е. А. Процессное моделирование разработки графика движения поездов / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 70–72.

10. Кузнецов, В. Г. Оперативное планирование поездной работы на основе модели поездообразования / В. Г. Кузнецов, Е. А. Федоров, В. Ф. Овсянников, С. П. Альшевская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2009. – № 1. – С. 42–47.

### **Статьи в сборниках научных трудов**

11. Ерофеев, А. А. Планирование составаобразования в системе интеллектуального управления перевозочным процессом / А. А. Ерофеев, Е. А. Федоров // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. работ ДИИТ. – 2016. – № 12. – С. 16–24.

12. Федоров, Е. А. Оценка разработки и выполнения графика движения поездов с учетом плана формирования / Е. А. Федоров // Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом : сб. трудов Междунар. практ. конф. / под общ. ред. В. Н. Морозова и Ю. О. Пазойского. – М. : ВИНТИ РАН, 2015. – С. 112–113.

### **Материалы конференций и тезисы докладов**

13. Федоров, Е. А. Применение процессного подхода к прокладке грузовых поездов на основе плана формирования / Е. А. Федоров // Тихомировские чтения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 20–24.

14. Кузнецов, В. Г. Влияние структуры поездопотока на организацию движения грузовых поездов по постоянному расписанию / В. Г. Кузнецов, Ф. П. Пищик, Е. А. Федоров, С. А. Герасимов, Е. Н. Заводцов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 50–53.

15. Федоров, Е. А. Процессно-объектная идентификация поездопотоков на полигоне инфраструктуры в условиях множества субъектов перевозочного процесса / Е. А. Федоров // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки : в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 61–63.

16. Федоров, Е. А. Информационное обеспечение процессно-объектной модели разработки графика движения поездов на инфраструктуре железной дороги / Е. А. Федоров // Информационные технологии и системы 2016 (ИТИС 2016): материалы Междунар. науч. конф. / под общей ред. Л. Ю. Шилина. – Минск : БГУИР, 2016. – С. 38–39.

17. Федоров, Е. А. Определение структуры полигона инфраструктуры для разработки графика движения поездов / Е. А. Федоров // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 158–159.

18. Федоров, Е. А. Новый подход к оценке разработки и выполнения графика движения поездов с учетом плана формирования / Е. А. Федоров // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы III Междунар. науч.-практ. конференции / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2013. – С. 96–97.

19. Федоров, Е. А. Применение динамической модели пониточного учета движения поездов при оценке качества выполнения графика движения поездов / Е. А. Федоров // Техническое регулирование на железнодорожном транспорте: сб. докладов I Междунар. науч.-практ. конф. – Днепропетровск : ДИИТ, 2007. – С. 50–51.

## РЕЗЮМЕ

**Федоров Евгений Александрович**

### **Формирование системы расписания движения грузовых поездов в условиях изменения моделей использования подвижного состава**

**Ключевые слова:** перевозчик, поезд, процесс, расписание, назначение плана формирования, график движения поездов, железнодорожный полигон, декомпозиция, поездная заявка.

**Цель работы:** разработка системы организации движения грузовых поездов на железнодорожном полигоне по маршрутным и сквозным назначениям ПФ, обеспечивающей их гарантированный пропуск в пределах имеющихся возможностей инфраструктуры в соответствии с параметрами применяемых перевозчиками и владельцами вагонов моделей использования подвижного состава.

**Методы исследования:** методы теории расписаний, метод Штейнгауза – Ллойда, метод ветвей и границ Хиггинса, методы эвристических алгоритмов Кая и Сахина.

**Полученные результаты работы и их новизна.** Разработана система постоянного расписания движения грузовых поездов на железнодорожных полигонах любой сложности и конфигурации. Разработан метод адаптации ГДП к расписаниям пропуска грузовых поездов по маршрутам следования, позволяющий установить новые параметры для моделирования ГДП. Разработана методика декомпозиции полигона инфраструктуры железной дороги на расчетные железнодорожные направления для моделирования расписаний сквозного пропуска грузовых поездов на участках инфраструктуры. Предложена технология реализации поездных заявок перевозчиков. Получил дальнейшее развитие методический подход к проведению комплексного анализа системы организации движения поездов за счет оценки пропуска грузовых поездов по назначениям ПФ и эффективности управляющих воздействий.

**Степень использования и рекомендации:** результаты работы внедрены в СТП БЧ 15.114–2018 «Порядок разработки графика движения поездов на Белорусской железной дороге» (приказ от 14.04.2018 № 365НЗ) и автоматизированную систему построения энергоэффективных графиков движения поездов и моделирования пропуска поездов на направлениях, а также приняты для практического использования при организации движения контейнерных поездов и отправительских маршрутов на полигоне БЧ.

**Область применения:** железнодорожный транспорт общего пользования.

## РЭЗІЮМЭ

**Фёдараў Яўген Аляксандравіч**

### **Фарміраванне сістэмы раскладу руху грузавых цягнікоў ва ўмовах змены мадэляў выкарыстання рухомага складу**

**Ключавыя словы:** перавозчык, цягнік, працэс, расклад, прызначэнне плана фарміравання, графік руху цягнікоў, чыгуначны палігон, дэкампазіцыя, цягніковая заяўка.

**Мэта працы:** распрацоўка сістэмы арганізацыі руху грузавых цягнікоў на чыгуначным палігоне па маршрутных і скразных прызначэннях ПФ, якая забяспечыць іх гарантаваны пропуск у межах наяўных магчымасцяў інфраструктуры ў адпаведнасці з параметрамі мадэляў выкарыстання рухомага саставу, якія прымяняюцца перавозчыкамі і ўладальнікамі вагонаў.

**Метады даследавання:** метады тэорыі раскладаў, метады Штейнгаўза – Лойда, метады галін і межаў Хігінса, метады эўрыстычных алгарытмаў Кая і Сахіна.

**Атрыманыя вынікі працы і іх навізна.** Распрацавана сістэма пастаяннага раскладу руху грузавых цягнікоў на чыгуначных палігонах любой складанасці і канфігурацыі. Распрацаван метады адаптацыі ГРЦ да расклада пропуску грузавых цягнікоў па маршрутах прытрымлівання, які дазваляе ўсталяваць новыя параметры для мадэлявання ГРЦ. Распрацавана метадыка дэкампазіцыі палігона інфраструктуры чыгункі на разліковыя чыгуначныя накірункі для мадэлявання раскладаў пропуску грузавых цягнікоў на ўчастках інфраструктуры. Прапанавана адаптыўная тэхналогія рэалізацыі цягніковых заявак перавозчыкаў. Атрымаў далейшае развіццё метадычны падыход да правядзення комплекснага аналізу сістэмы арганізацыі руху цягнікоў за кошт ацэнкі пропуску грузавых цягнікоў па прызначэннях ПФ і эфектыўнасці кіравальных уздзеянняў.

**Ступень выкарыстання і рэкамендацыі:** вынікі працы ўкаранены ў СТП БЧ 15.114–2018 «Парадак распрацоўкі графіка руху цягнікоў на Беларускай чыгунцы» (загад ад 14.04.2018 № 365НЗ) і аўтаматызаваную сістэму распрацоўкі энергаэфектыўных графікаў руху цягнікоў і мадэлявання пропуску цягнікоў на напрамках, а таксама прыняты для практычнага выкарыстання пры арганізацыі руху кантэйнерных цягнікоў і адпраўніцкіх маршрутаў на палігоне Беларускай чыгункі.

**Вобласць ужывання:** чыгуначны транспарт агульнага карыстання.

## SUMMARY

**Fedorov Eugene Alexandrovich**

### **Formation of a freight train timetable system in the context of changing models of rolling stock use**

**Core words:** carrier, train, process, schedule, appointment of the formation plan, train schedule, railway range, decomposition, train request.

**Purpose of the work:** development of a system for organizing the movement of freight trains at the railway range for route and through destinations of the PF, ensuring their guaranteed passage within the available infrastructure capabilities in accordance with the parameters of the rolling stock use models used by carriers and wagon owners.

**Research methods:** scheduling theory methods, Steingauz – Lloyd’s method, Higgins branch-and-bound method, Kai’s and Sakhin’s heuristic algorithms methods.

**The results of the work and their novelty.** The system of constant timetable for the movement of freight trains has been developed. The method has been developed for adapting the traffic flow to the schedules of the passage of freight trains along the routes, which makes it possible to set new parameters for modeling the traffic flow. The method has been developed for decomposition of the railway infrastructure polygon into calculated railway directions for modeling the schedules of the passage of freight trains on the infrastructure sections. The adaptive technology for the implementation of carriers’ train requests is proposed. The methodological approach to conducting a comprehensive analysis of the system of organizing the movement of trains was further developed by assessing the passage of freight trains by destination of the FP and the effectiveness of control actions.

**Level of use and recommendations:** the results of work were implemented in STP BR 15.114–2018 «Procedure for the development of a train schedule on the Belarusian Railways» (order dated 04/14/2018 No. 365NZ) and the automated system for constructing energy-efficient train schedules and modeling train traffic on the directions, and also adopted for practical use in organizing the movement of container trains and shipping routes at the training ground of the Belorussian Railway.

**Field of application:** railway transport for general use.



Научное издание

*ФЕДОРОВ Евгений Александрович*

**ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ  
РАСПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ  
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности

05.22.08 – Управление процессами перевозок

Подписано в печать 07.04.2022 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 1,63. Тираж 60 экз. Зак. 826.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский государственный университет транспорта.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017.

Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель