

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА

УДК 656.2.004

ТЕРЕЩЕНКО
Олег Анатольевич

**ОПЕРАТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ МЕСТНОЙ РАБОТЫ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКОВ И УЗЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

по специальности 05.22.08 – Управление процессами перевозок

Гомель, 2018

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

Научный руководитель

Кузнецов Владимир Гаврилович,

кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Управление эксплуатационной
работой и охрана труда» учреждения образо-
вания «Белорусский государственный
университет транспорта»

Официальные оппоненты

Пазойский Юрий Ошарович,

доктор технических наук, профессор, заведу-
ющий кафедрой «Железнодорожные станции
и узлы» ФГБОУ ВО «Российский университет
транспорта (МИИТ)»

Пильгун Татьяна Владимировна,

кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Экономика и логистика»
Белорусского национального технического
университета

Оппонирующая организация

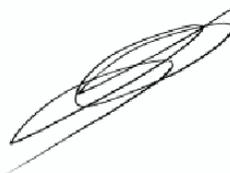
Акционерное общество «Институт экономики
и развития транспорта» (г. Москва, Россий-
ская Федерация)

Защита состоится «22» ноября 2018 г. в 14:00 на заседании совета по защите
диссертаций Д 02.27.01 при УО «Белорусский государственный университет
транспорта» по адресу: 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, ауд. 250.
E-mail: putsyata.artur@gmail.com. Тел. (+375232) 95-37-91.

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

Автореферат разослан «18» октября 2018 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций



А.В. Пуцято

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность транспортной деятельности зависит от адаптации технологии транспорта возникающим потребностям транспортного рынка, условиям организации перевозок, используемым и внедряемым инновациям.

Информационные технологии, применяемые на железнодорожном транспорте, создали виртуальную среду, динамично и адекватно отображающую перевозочный процесс. Ее наличие позволяет разрабатывать и реализовывать высокоточные алгоритмы планирования перевозочного процесса, включая модели реального времени.

Планирование перевозочного процесса является сложной и наукоемкой составляющей транспортной деятельности. Качественное решение задач планирования основывается на моделях, позволяющих своевременно и достоверно прогнозировать поведение транспортных объектов, уменьшая энтропию в системе управления. За счет этого достигается снижение технологических рисков, улучшаются количественные и качественные показатели эксплуатационной работы.

Местная работа железной дороги является важной составляющей эксплуатационной работы, обеспечивающей начально-конечную фазу перевозки грузов. Для нее характерны операции, параметры которых зависят от достаточно большого числа участников логистической цепи. Качество местной работы оказывает влияние на процессы накопления и формирования поездов, которые в свою очередь определяют основные параметры эксплуатационной работы станций и узлов, участков, отделений и железной дороги в целом.

Железнодорожные участки и узлы представляют собой условно самостоятельные объекты, позволяющие в их совокупности рассматривать любой железнодорожный полигон.

В диссертации предложена методика оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса. Методика учитывает возможности применяемых на железнодорожном транспорте современных информационно-аналитических систем, повышает достоверность разрабатываемых оперативных планов местной работы, позволяет адекватно оценить и учесть возникающие в транспортном процессе технологические риски.

Результаты диссертационного исследования внедрены на Белорусской железной дороге в виде положений технологических процессов и стандартов организации в области управления и планирования перевозок, а также реализованы в виде алгоритмов автоматизированных систем.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Исследования и научно-технические разработки по теме диссертации выполнялись в соответствии с Государственными программами развития железнодорожного транспорта Республики Беларусь до 2010 года (Постановление Совета Министров РБ от 29.01.1999 г. №161), на 2011 – 2015 годы (Постановление Совета Министров РБ от 20.12.2010 г. №1851), на 2016 – 2020 годы (Постановление Совета Министров РБ от 28.04.2016 г. №345).

В соответствии с планами НИОКР при непосредственном участии автора выполнены следующие НИР:

«Организация системы оперативного планирования и управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге» № Д/Ю-1650/3942, ГР 20053437, срок выполнения: 01.10.2005 – 30.09.2006;

«Разработка технологии работы Белорусской железной дороги в условиях функционирования центра управления перевозками» № Д/Ю-955/4400, ГР 20066003, срок выполнения: 01.07.2006 – 29.06.2007;

«Разработка сквозной интегрированной системы оперативного планирования поездной работы в ЦУП Белорусской железной дороги» № Д/Ю-1677/5667, ГР 200830001, срок выполнения: 15.09.2008 – 30.09.2009;

«Исследование и анализ нормативно-правовой базы и анализ условий работы железнодорожного транспорта, и выработка предложений по ее совершенствованию» № 11290, ГР 20171543, срок выполнения: 06.07.2017 – 29.12.2017;

«Разработка Концепции развития логистической системы Республики Беларусь на период до 2030 г.» № 11385, ГР 20171704, срок выполнения: 03.08.2017 – 26.12.2017.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка методики оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов, позволяющей определять технологические риски, а также адекватно сложившимся условиям оценивать и учитывать в системе принятия управленческих решений параметры транспортных объектов и процессов на начально-конечных операциях доставки грузов.

Для достижения поставленной цели решены следующие *задачи*:

- проведен системный анализ объекта и предмета исследования, выполнена постановка задачи исследования, определены критерии и методы исследования;
- разработана и параметрически описана динамическая модель перевозочного процесса с потребной для достижения цели исследования детализацией;

– разработана и верифицирована методика оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса;

– произведена комплексная апробация разработанной методики оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов на примере объектов Белорусской железной дороги.

Объектом исследования выступают железнодорожные участки и узлы, как совокупность инфраструктурных сооружений и устройств, перевозочных средств, систем информационного обеспечения и управления перевозками, позволяющих реализовывать установленные технико-эксплуатационные параметры местной работы.

Предметом исследования является управленческая деятельность в области оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов, зависящая от уровня ее научно-методического, технологического и информационного обеспечения.

Выбор объекта и предмета исследования обусловлен важностью решения эксплуатационных задач организации местной работы, влияющих на эффективность транспортно-логистических цепей доставки грузов.

Положения, выносимые на защиту

1 Формализованное представление упорядоченной совокупности транспортных объектов с необходимой детализацией, определяемой потребным набором параметров для решения задач оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов в реальном масштабе времени с учетом возможностей современных информационно-аналитических систем и предъявляемых требований к качеству получаемых решений.

2 Технологическая модель местной работы железнодорожных участков и узлов, основанная на системном представлении и алгоритмическом описании перевозочного процесса, позволяющая при решении задач оперативного планирования устанавливать параметры технологических цепей продвижения местного вагонопотока произвольной структуры.

3 Методика прогнозирования параметров технологических цепей продвижения местного вагонопотока произвольной структуры, которая позволяет впервые при оперативном планировании местной работы одновременно учитывать воздействие случайных процессов, достоверность исходных данных и прогнозной модели.

4 Методика оценки технологических рисков в системе организации местной работы железнодорожных участков и узлов, сопутствующих реализации оперативных планов, основанная на прогнозировании параметров технологических

цепей, применение которой позволяет снижать издержки, связанные с нарушением нормативов доставки грузов, использованием тягового подвижного состава, вагонного парка, трудовых ресурсов.

5 Методика построения уточненных прогнозных моделей накопления вагонов в процессе моделирования местной работы, адаптированная к параметрам неопределенности исходной информации, позволяющая производить сценарную оценку реализации технологических цепей, повысить качество информационного обеспечения системы принятия управленческих решений и достоверность оперативных планов.

Личный вклад соискателя

Диссертация является самостоятельным и законченным научным исследованием проблемы оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов. Положения, выносимые на защиту, разработаны соискателем лично, апробированы, имеют научную новизну и практическую значимость.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Научные результаты диссертации нашли полное отражение в опубликованных печатных работах соискателя, докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях: открытых научных семинарах и заседаниях кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда» УО «Белорусский государственный университет транспорта»; международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 2000); международной научно-практической конференции «Транспорт – 2003» (Ростов-на-Дону, 2003); международной научно-технической конференции «Информационные технологии и системы 2016 (ИТС 2016)» (Минск, 2016); международной научно-практической конференции «Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании» (Днепр, 2016); международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 2017). По результатам диссертации получено 3 акта внедрения. Научные результаты диссертации используются в ГО «Белорусская железная дорога» и в образовательном процессе УО «Белорусский государственный университет транспорта».

Опубликование результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе 9 статей (3,7 п. л.) в рецензируемых изданиях, которые ВАК рекомендует для опубликования результатов диссертаций, 3 статьи в сборниках научных трудов, 6 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 199 страницах. Объем, занимаемый 27 рисунками, 4 таблицами и 11 приложениями, составляет 99 страниц. Библиографический список состоит из 121 наименования, включая 18 публикаций соискателя, и занимает 11 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** произведен анализ состояния вопроса и выполнена постановка задачи исследования.

Железнодорожный транспорт Республики Беларусь имеет устойчивое положение на рынке транспортных услуг. Продолжается его активная интеграция в евроазиатские транспортные системы, имеются позитивные тенденции для увеличения транспортной работы. Актуальными являются процессы количественного и структурного изменения транспортного потока, его перераспределения на товарных рынках, вовлечения грузоотправителей и грузополучателей в логистические цепи доставки.

Существенное влияние на качество транспортных процессов, в том числе на продолжительность доставки грузов, оказывают технологические операции, относящиеся к местной работе, которые составляют значительную долю нахождения груза в процессе перевозки.

Оперативное планирование является важным управленческим процессом. Основными задачами оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов являются:

- установление плана образования местных поездов на технических станциях;
- планирование процесса продвижения местных поездов;
- планирование выполнения технологических операций с местными вагонами на технических и промежуточных станциях;
- разработка регулировочных действий по обеспечению перевозок необходимыми ресурсами при изменении сложившихся условий работы.

Повышение качества решения задач оперативного планирования позволяет оптимизировать параметры технологических цепей в районе местной работы, ускорять продвижение вагонопотоков, снижать ресурсоемкость транспортных операций. Наблюдаемое увеличение числа участников перевозочного процесса и перераспределение между ними логистических функций существенно усложняют деятельность по оперативному планированию местной работы – точность

разработки оперативных планов не превышает 85–90%. При этом развитие логистических и информационных технологий создают благоприятную среду для научного обоснования и создания необходимых инноваций.

Организация местной работы находится в зоне постоянного научного и методического развития. Ученые, исследовавшие процессы местной работы, решавшие проблемы планирования и управления перевозками, достигли значительных результатов. Среди них А.А. Абрамов, Н.П. Берлин, А.Ф. Бородин, В.А. Буянов, И.С. Васильев, П.В. Долгополов, Ю.В. Дьяков, А.А. Ерофеев, П.С. Грунтов, В.Н. Зубков, О.С. Кирьянова, А.Н. Котенко, В.А. Кудрявцев, В.Г. Кузнецов, Б.А. Левин, Д.В. Ломатько, В.Я. Негрей, Р.З. Нурмухамедов, А.Т. Осьминин, А.В. Петров, В.В. Повороженко, Н.В. Правдин, Е.В. Прилепин, А.В. Рыженков, А.А. Смехов, Н.К. Сологуб, П.А. Сыцко, И.Г. Тихомиров, Е.М. Тишкин, Л.П. Тулупов, А.К. Угрюмов, К.Т. Худайберганов, Н.В. Эрлих, Е.П. Юшкевич, В.П. Ярошевич и многие другие ученые и практики.

В результате научных исследований удалось определить положение местной работы в системе перевозочного процесса, формализовать основные технологические процессы и условия взаимодействия. В то же время остались нерешенными ряд задач местной работы. Наиболее важной на современном этапе является проблема оптимизации потребности ресурсов множества участников перевозочного процесса. Исходя из общих задач участников транспортного рынка, установлен критерий оценки результатов решения задач диссертационного исследования, который в общем виде характеризуется выражением:

$$\begin{cases} F = \sum_{i=1}^{I_r} \sum_{j=1}^{C_r} \sum_{k=1}^{K_r} \left(|\Delta a_{ijk}| e_{ijk} + \sum_{l=1}^{a_d} |\Delta a_{ijkl}^*| e_{ijkl} \right) \rightarrow \min, \\ F \geq 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где I_r , C_r , K_r – общее количество, соответственно, операторов железнодорожной инфраструктуры, перевозчиков, прочих участников логистической цепи доставки грузов, включая клиентов;

Δa_{ijk} – отклонение запланированного параметра перевозочного процесса от установленного значения;

e_{ijk} , e_{ijkl} – удельные затраты, связанные с отклонением запланированного параметра от установленного значения (отдельно для отклонения в большую и меньшую сторону), руб.;

a_d – общее количество зависимых параметров, не включенных в оперативный план;

Δa_{ijkl}^* – отклонение зависимого параметра от установленного значения, на который оказывает влияние величина Δa_{ijk} (в части непосредственного влияния величины Δa_{ijk}).

На основе проведенного анализа научно-методического обеспечения организации местной работы сформулированы задачи диссертационного исследования. Их поэтапное решение позволит за счет создания предлагаемой динамической модели перевозочного процесса и применения разработанной методики увеличить достоверность результатов оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов.

Во **второй главе** разработана динамическая модель перевозочного процесса, необходимая для решения задачи оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов.

Под динамической моделью $W(t)$ понимается совокупность изменяемых во времени параметров контролируемых объектов и процессов, позволяющих на основе формальных правил прогнозировать состояние перевозочного процесса на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Установлено, что необходимым условием для формирования динамической модели является наличие массива данных, отображающих последовательное изменение состояния перевозочного процесса, при условии, что полнота, актуальность, достоверность и точность предоставляемых данных обеспечивают заданную надежность моделирования. Информационную среду динамической модели перевозочного процесса составляют:

- условно постоянная информация, включающая информационную модель железнодорожной инфраструктуры и нормативно-справочную информацию;
- переменная информация, включающая отображение состояния динамических объектов железнодорожного транспорта и параметров перевозочного процесса.

Объектами динамической модели перевозочного процесса $W(t)$ являются:

- объекты инфраструктуры W_s : перегоны (участки), станции (и их подсистемы, включая грузовые пункты). По идентификационным признакам объектов инфраструктуры выполняется структурирование динамической базы данных $W_6(t)$;

- динамические объекты $W_d(t)$: вагонный парк, грузы, локомотивный парк, объекты технологического обеспечения перевозочного процесса. Посредством анализа выполнения процессов с такими объектами формируются динамические параметры, на основе которых определяется прогнозное состояние перевозочного процесса $W_n(t)$ в местной работе.

Объекты инфраструктуры группируются в виде модульной структуры. Модулем нулевого порядка является железнодорожный полигон J , состоящий из

железнодорожных участков и узлов L_i – модулей первого порядка. Железнодорожные станции P_{ij} и перегоны S_{ij} являются модулями второго порядка, а станционные подсистемы (пути, парки путей, сортировочные устройства, грузовые пункты) P_{ijk} представляют из себя модули третьего порядка.

Основной группой динамических объектов модели является вагонный парк $R(t)$, который можно представить следующей совокупностью параметров, характеризующей его использование в местной работе:

$$R(t) = \bigcup_{i=1}^{R_{\text{мп}}} r_i(t) = \bigcup_{i=1}^{R_{\text{мп}}} \{w_{ri}, c_{ri}, p_{ri}(t), g_{ri}(t), h_{ri}(t)\}, \quad (2)$$

где $R_{\text{мп}}$ – рабочий парк вагонов, отображаемых в динамической модели;

$r_i(t)$ – элемент множества $R(t)$, соответствующий i -му вагону;

w_{ri} – инвентарный номер вагона;

c_{ri} – признак, указывающий на собственника вагона;

$p_{ri}(t)$ – назначение следования вагона;

$g_{ri}(t)$ – параметры, характеризующие перевозимые в вагоне грузы;

$h_{ri}(t)$ – последовательность выполненных с вагоном операций.

Технологическая составляющая динамической модели сформирована в виде формализованной пооперационной модели местной работы (рисунок 1). Каждый модуль рассматривается как система двух параллельных процессов: а) обработки вагонопотока; б) оперативного управления, включающего обработку документов и информационных потоков. При последовательном переходе между модулями при моделировании обработки вагонопотока проверяется: свобода каналов следующего модуля, наличие свободных общих для нескольких модулей ресурсов (маневровых локомотивов, технологических бригад), выполнение внешних ограничивающих условий, если они не реализованы в виде отдельных модулей (выполнение необходимых платежей и сборов, завершение таможенных операций, пограничного и фитосанитарного контроля и другие).

В динамической модели установлены контролируемые операции в заданной последовательности z_{ki} для каждой категории станций и ограничивающие условия, связанные с соблюдением нормативов перевозочного процесса.

Способ установления параметров местной работы на основе предложенной динамической модели перевозочного процесса представлен в последующих главах диссертации в виде разработанной методики оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов и примера ее апробации.

В **третьей главе** разработана методика оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов, которая позволяет устанавливать оперативный план на основе прогноза, формируемого с использованием динамической модели перевозочного процесса $W(t)$.

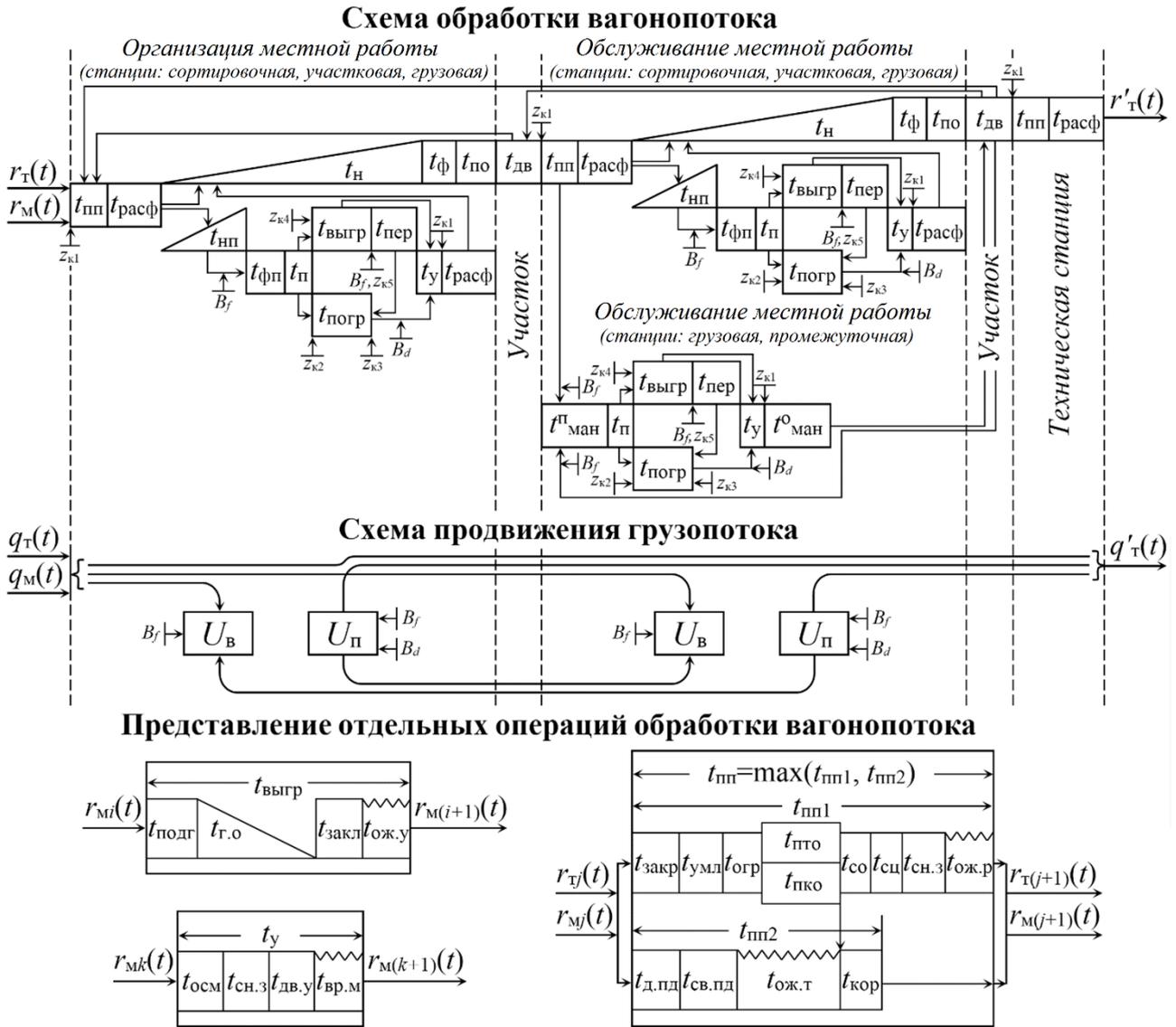


Рисунок 1. – Пооперационная модель местной работы железнодорожных участков и узлов

Установлено, что энтропия оценки состояния объектов и выполнения процессов при оперативном планировании местной работы в основном зависит от факторов, определяющих вероятностный характер времени поступления вагонов на расчетный полигон и времени завершения выполнения с вагонами грузовых операций. Их совокупное влияние может быть описано функциями плотности распределения вероятности остатков времени (ошибок прогнозирования), которые определяются сравнением результатов оперативного прогноза моментов времени прибытия вагонов на техническую станцию $f_{\text{оши}}^{\text{п}}(t_{ri}^{\text{п}})$ и моментов времени завершения выполнения с вагонами грузовых операций $f_{\text{оши}}^{\text{р}}(t_{ri}^{\text{р}})$ с фактическими значениями (результатами работы).

Учет ошибок оперативного прогноза позволяет предусматривать (моделировать) возможные варианты развития перевозочного процесса в периоде планирования. В процессе моделирования устанавливается вероятность реализации для i -го вагона j -й вариации параметров технологической цепи O_{vij} :

$$p_{vij} = \left(1 - p_{vi}^{\text{офт}}\right)^{-1} \int_{M[t_{ri}^{\text{п}}] + t_{\text{офт}j+1}^{\text{п}} - t_{ri}^{\text{п}}}^{M[t_{ri}^{\text{п}}] + t_{\text{офт}j+1}^{\text{п}} - t_{ri}^{\text{п}}} f_{\text{офт}i}^{\text{п}}(t_{ri}^{\text{п}}) dt_{ri}^{\text{п}} \times \int_{M[t_{ri}^{\text{г}}] + t_{\text{офт}k+1}^{\text{г}} - t_{ri}^{\text{г}}}^{M[t_{ri}^{\text{г}}] + t_{\text{офт}k+1}^{\text{г}} - t_{ri}^{\text{г}}} f_{\text{офт}i}^{\text{г}}(t_{ri}^{\text{г}}) dt_{ri}^{\text{г}}, \quad (3)$$

где $\left(1 - p_{vi}^{\text{офт}}\right)^{-1}$ – нормировочная поправка, связанная с приведением для практических целей бесконечной области определения функций $f_{\text{офт}i}^{\text{п}}(t_{ri}^{\text{п}})$, $f_{\text{офт}i}^{\text{г}}(t_{ri}^{\text{г}})$ к конечному промежутку;

$M[t_{ri}^{\text{п}}]$, $M[t_{ri}^{\text{г}}]$ – математическое ожидание, соответственно, ошибки моделирования времени прибытия i -го вагона на техническую станцию и времени завершения выполнения с ним грузовых операций;

$t_{\text{офт}j}^{\text{п}}$, $t_{\text{офт}j+1}^{\text{п}}$ – моменты времени, соответствующие особым состояниям динамической модели перевозочного процесса в подсистеме расчета параметров обработки вагонопотока на технической станции по прибытии;

$t_{ri}^{\text{п}}$, $t_{ri}^{\text{г}}$ – установленные оперативным прогнозом моменты времени, соответственно, прибытия вагона (группы вагонов) на техническую станцию и завершения выполнения с вагоном (группой вагонов) грузовых операций;

$t_{\text{офт}k}^{\text{г}}$, $t_{\text{офт}k+1}^{\text{г}}$ – моменты времени, соответствующие особым состояниям динамической модели перевозочного процесса в подсистеме моделирования обработки вагонопотока после выполнения грузовых операций.

Каждому вагону в динамической модели согласно его технологическим признакам ставится в соответствие набор ограничений $r_i \rightarrow \{b_{ol}\}$ из общего множества ограничений B_o (срок доставки груза, допустимое время нахождения вагона в k -й технологической цепи и другие). Тогда при $n(b_{ol})$ прогнозируемых вариантах развития перевозочного процесса с нарушениями для i -го вагона l -го ограничения расчетная вероятность $p_i^b \left(\bigcup_{j=1}^{n(b_{ol})} O_{vij} \right)$ при ее превышении заданного предельного значения $p_{ol}^{b(\text{min})}$ учитывается при оперативном планировании в качестве оценки технологического риска.

Составной частью методики оперативного планирования является прогнозирование параметров выполняемых с вагонами операций, которые предлагается представлять в виде последовательной структуры. В ней цепи операций, выполняемых по мере поступления вагонов в канал обслуживания, разделены операциями, начало выполнения которых установлено расписанием (рисунок 2).

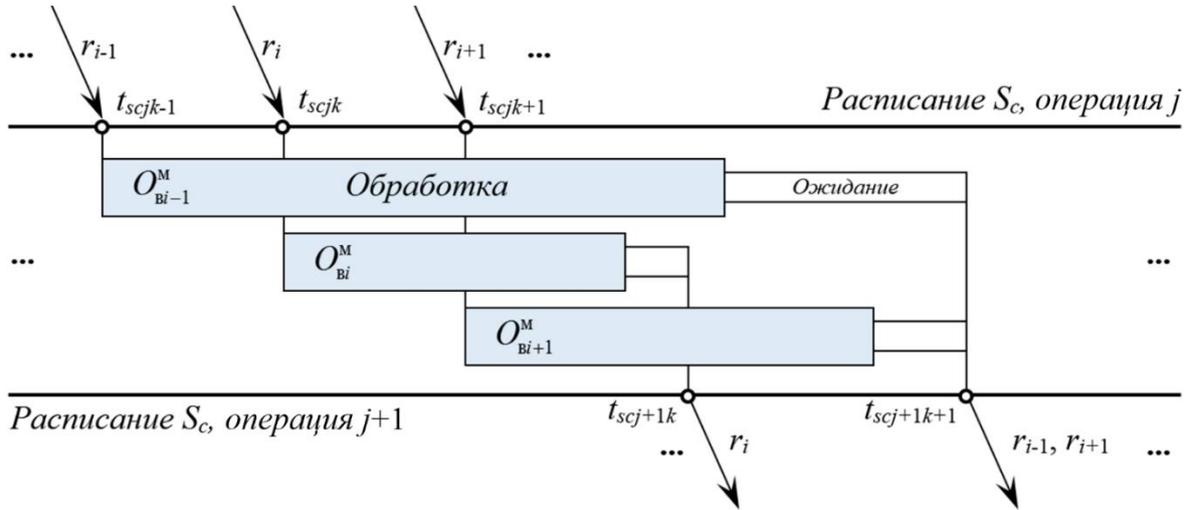


Рисунок 2. – Схема выполнения операций перевозочного процесса для установления прогнозных параметров продвижения вагонопотока

Расписанием S_c для всех установленных графиком (диспетчером, планом) операций, выполняемых на расчетном полигоне, является множество вида:

$$S_c = \bigcup_{j=1}^{k_{sc}} s_{cj}, \forall s_{cj} = \{t_{scj1}, t_{scj2}, \dots, t_{scjk}, P_{scj}\}, \quad (4)$$

где k_{sc} – количество операций в технологической цепи, начало выполнения которых предусмотрено в установленное время;

s_{cj} – расписание выполнения операции перевозочного процесса, представляющее собой перечень возможных временных координат (моментов) для начала выполнения j -й операции в технологической цепи (например, график отправления местных поездов);

t_{scjk} – k -й момент установленного расписанием времени возможного начала выполнения j -й операции;

P_{scj} – функция выбора, предписывающая возможность использования моментов расписания для обработки вагона, $E(P_{scj}) = \{0,1\}$.

Для каждого момента расписания t_{scjk} формируется нечеткое множество T_{scjk} из числа готовых к обработке вагонов (рисунок 3) и набора ограничений:

$$t_{scjk} \rightarrow T_{scjk} = \{r_i / p_{scjki} \mid P_{scj} = 1\}, \forall T_{scjk} \exists B_{scjk} = \{b_{scjkn}\}, \quad (5)$$

где p_{scjki} – мера принадлежности элемента r_i нечеткому множеству T_{scjk} ;

B_{scjk} – множество из $\{b_{scjkn}\}$ элементов, задающих параметры ограничений, накладываемых на k -й момент расписания выполнения j -й операции (допустимая длина железнодорожного состава, допустимая масса железнодорожного состава и другие).

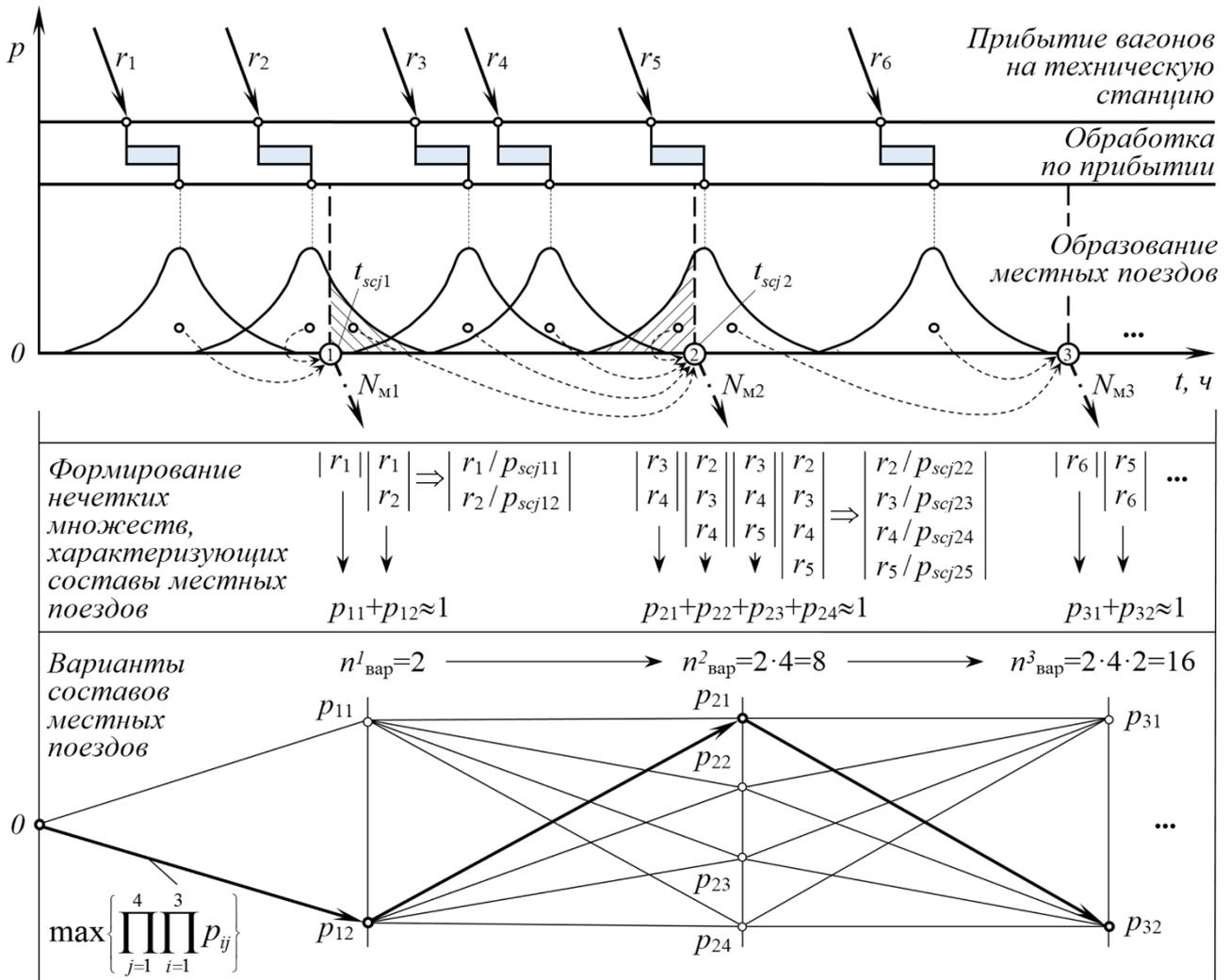


Рисунок 3. – Способ формирования нечеткого множества готовых к обслуживанию вагонов и прогнозирования вариантов развития перевозочного процесса

Таким образом, оперативный прогноз перевозочного процесса составляется в виде расписания S_c с указанием в нем для каждой операции возможных моментов начала выполнения t_{scjk} и нечетких множеств готовых к обработке (накопленных) вагонов T_{scjk} .

При решении задачи оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов производится анализ нечетких множеств T_{scjk} :

- определяется математическое ожидание числа вагонов, готовых к выполнению j -й операции в k -й момент расписания, что является основой для составления базового варианта оперативного плана;

- формируются α -срезы нечетких множеств, которые служат оценкой величины и устойчивости групп вагонов, начало выполнения j -й операции с которыми планируется на k -й момент расписания;

– определяется для k -го момента расписания вероятность нарушения установленных ограничений, наложенных на j -ю операцию, что служит оценкой технологического риска.

Для проведения оперативного анализа состояния перевозочного процесса с целью оптимизации местной работы за счет корректировки расписания S_c предлагается на основе разработанной динамической модели осуществлять прогнозирование процессов накопления вагонов в ожидании обработки (рисунок 4). В зависимости от уровня неопределенности исходной информации прогноз накопления вагонов может быть представлен одним из трех вариантов:

– первый вариант предлагается использовать при наличии достоверной информации о времени поступления и продолжительности обработки вагонов. Для приведенных условий характерно применение постоянного расписания в предыдущих технологических цепях по отношению к прогнозируемому процессу и (или) использование короткого горизонта прогноза (в пределах периода текущего планирования на 3...6 ч);

– второй вариант предлагается использовать при поступлении вагонов в накопление по постоянному расписанию (устойчивым ниткам графика), но при вероятностном распределении поступления i -го вагона в накопление по заданным моментам расписания. Такие условия характерны при поступлении вагонов на станцию с участков с большой долей устойчивых ниток графика движения поездов или при высоком уровне использования пропускной способности поездами, следующими по постоянному расписанию;

– третий вариант является обобщенным представлением процесса накопления вагонов, и его предлагается применять во всех остальных случаях (когда процесс поступления вагонов адекватно описывается непрерывными или кусочно-заданными функциями).

По результатам анализа прогноза накопления вагонов (рисунок 4) для моментов расписания $\{t_{scjk}\}$ создаются варианты $\{t_{scjk}^{Bi}\}$, которые:

1) при обработке вагонопотока по постоянному расписанию оцениваются в качестве возможных вариантов расписания в перспективе;

2) в случае свободного расписания оцениваются в качестве возможных вариантов расписания в периоде оперативного планирования. При этом рекомендуется:

– осуществлять формирование расписания, руководствуясь расчетными моментами наиболее вероятного накопления вагонов до технологической нормы или ограничения. Такой способ необходимо применять для расписаний, обеспечивающих общую оптимизацию технологии местной работы;

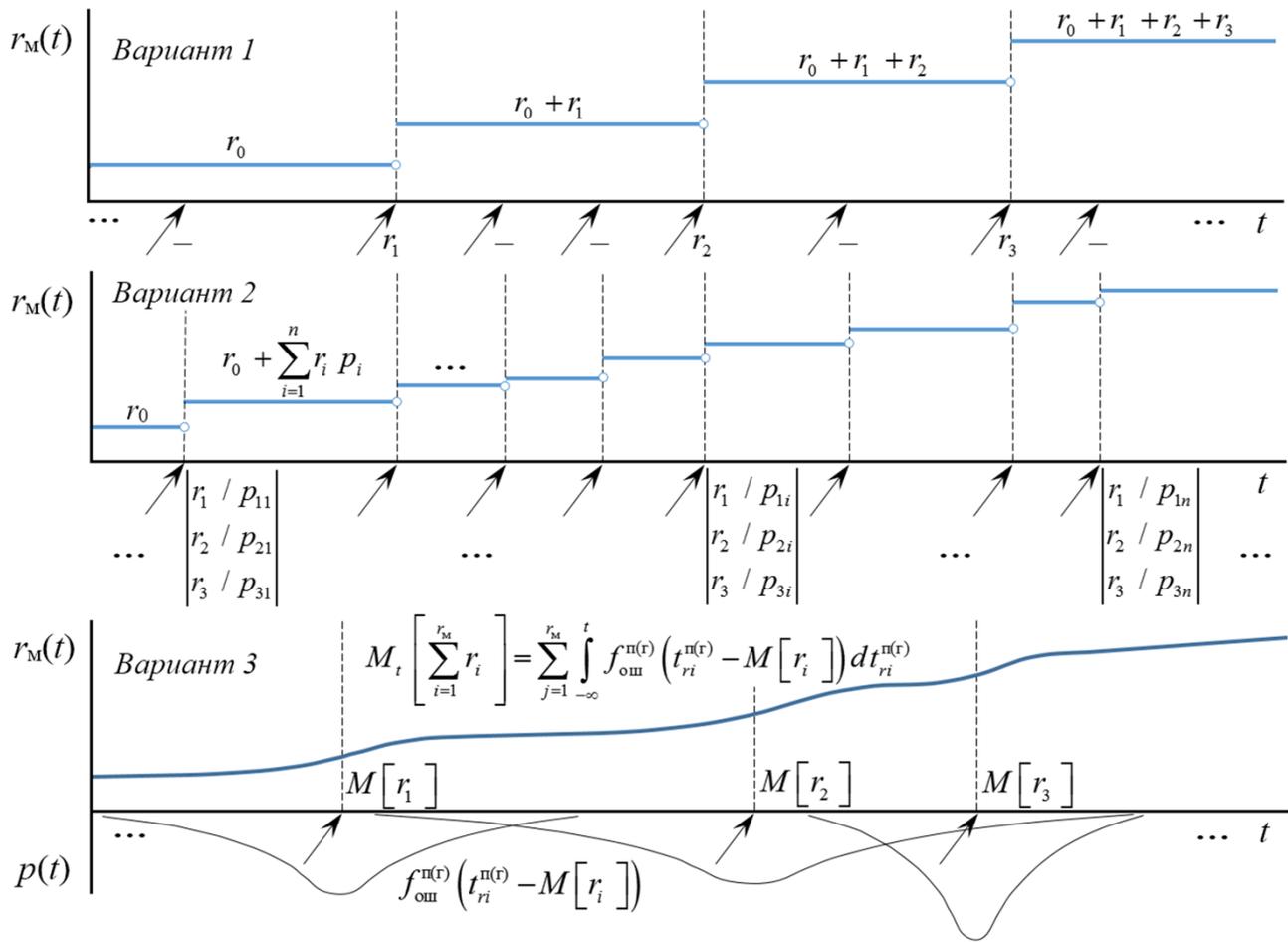


Рисунок 4. – Графическая интерпретация методики построения прогнозной модели накопления вагонов

– осуществлять формирование расписания, руководствуясь расчетными моментами наиболее вероятного накопления вагонов до технологической нормы или ограничения с заданным уровнем достоверности. Такой способ необходимо применять в случаях, если критерием оптимизации расписания является использование тяговых ресурсов в местной работе, или при необходимости начала обработки (отправления) контролируемых диспетчером вагонов в заданные моменты расписания.

В диссертационном исследовании установлено целевое назначение оперативного плана местной работы в процессе управления перевозками (рисунок 5), а также разработана общая процедура оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов с применением динамической модели и положений разработанной методики, которая включает следующие основные этапы:

А. Прогнозирование перевозочного процесса с использованием динамической модели:

- сбор исходных данных;
- моделирование перевозочного процесса в периоде планирования;

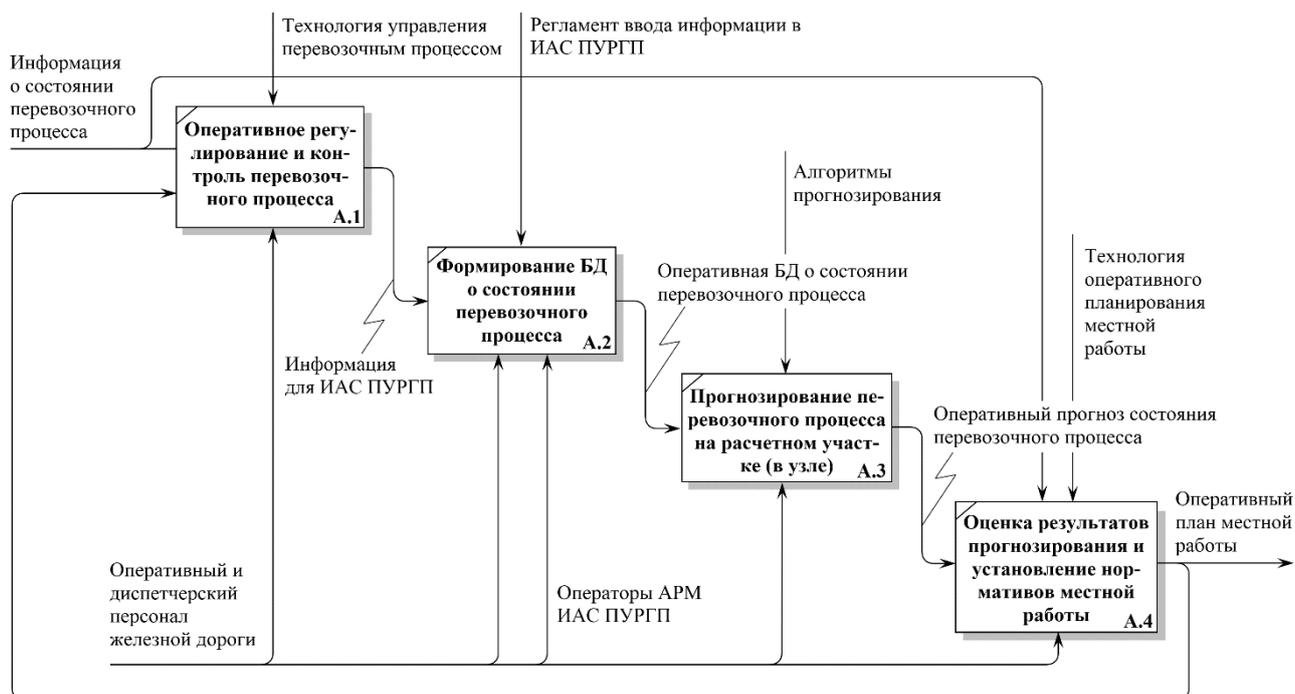


Рисунок 5. – Целевое назначение оперативного плана местной работы в процессе управления перевозками

Б. Установление нормативов перевозочного процесса:

- установление и оценка предварительных показателей плана, разработка регулировочных мероприятий и порядка ресурсообеспечения плана;
- согласование, утверждение и доведение плана до исполнителей.

Предложенные научные рекомендации позволяют повысить качество оперативного планирования местной работы и реализовать его на практике в рамках устоявшихся процедур суточного планирования, разработки сменных заданий, установления текущих планов.

В четвертой главе проведена оценка разработанной методики оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса.

В результате исследования адекватности методики установлены условия, определяющие эффективность ее применения. Показано, что динамическая модель может быть качественно реализована на современной технической базе железнодорожного транспорта, а разработанная на ее основе методика позволит адекватно осуществлять оперативное планирование местной работы.

В качестве объекта апробации предложенной методики выбраны районы местной работы Белорусской железной дороги, обслуживаемые станцией Минск-Сортировочный: Минский железнодорожный узел, участки Минск – Осиповичи, Минск – Барановичи, Минск – Молодечно и Минск – Орша.

На основе анализа распределения остатков прогнозных моделей прибытия поездов на станцию Минск-Сортировочный и выполнения грузовых операций с использованием реальной оперативной обстановки разработано два варианта суточного плана местной работы для расчетного полигона: 1) согласно применяемой на практике методике; 2) согласно предлагаемой методике, в том числе с рассчитанными технологическими рисками.

В результате сравнения показателей вариантов суточного плана местной работы с фактически исполненными показателями, а также реализованными и не реализованными рисками, установлено, что относительная погрешность в системе моделирования местной работы за счет использования предложенной методики уменьшилась с 10,7 до 6,5% (на 38,6%), что позволило сократить оборот грузового вагона на 0,5 ч.

На примере назначения Минск – Орша апробирована предложенная модель накопления вагонов в системе образования местных поездов, учитывающая распределение вероятностей времени поступления в накопление каждого вагона. С ее использованием продемонстрированы параметры возникшего технологического риска превышения допустимого числа вагонов и способ его устранения.

В качестве формы практической реализации предложено внедрение результатов диссертационного исследования в комплексе автоматизированной системы оперативного планирования местной работы Белорусской железной дороги на основе динамической модели перевозочного процесса. Показано, что инвестиционный проект по созданию автоматизированной системы окупится через 4,4 года после ввода в промышленную эксплуатацию при чистом дисконтированном доходе по истечении 10 лет $NPV = 492,9$ тыс. BYN и дисконтированном индексе доходности инвестиций в 10-летнем периоде $DPI = 1,20$.

Предложенный способ практической реализации динамической модели и разработанной методики оперативного планирования устойчив к рискам и экономически обоснован. Результаты диссертационного исследования внедрены в производство с суммарным эффектом 120,7 тыс. BYN в год, что определено с использованием величин расходных ставок, действующих на 01.05.2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1 На основе анализа исследуемой проблематики в составе разработанной динамической модели перевозочного процесса идентифицированы, классифицированы и представлены в формализованном виде инфраструктурные и динамические объекты железнодорожного транспорта. Выбор объектов и уровень их детализации обусловлен потребным набором параметров для решения задач оперативного планирования местной работы железнодорожных участков

и узлов. Формализованное представление транспортных объектов позволяет алгоритмизировать и решать задачи оперативного планирования в реальном масштабе времени с учетом возможностей современных информационно-аналитических систем и предъявляемых требований к качеству получаемых решений [1, 2, 5, 7, 8, 13, 18].

2 Исследованы, формализованы и представлены в виде технологической модели процессы местной работы железнодорожных участков и узлов. В основу формализации положены системное представление и алгоритмическое описание перевозочного процесса. Операции перевозочного процесса представлены в вариантных последовательностях и возможных взаимосвязях с учетом идентифицированных взаимных и внешних ограничений. Это позволяет при решении задач оперативного планирования моделировать и устанавливать в режиме реального времени параметры технологических цепей продвижения местного вагонного потока произвольной структуры [2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 17].

3 Разработана методика прогнозирования параметров технологических цепей продвижения местного вагонного потока произвольной структуры с использованием формализованного представления объектов железнодорожного транспорта и технологических процессов местной работы железнодорожных участков и узлов. Методика основана на исследовании выходящих потоков для подсистем прогнозирования времени прибытия вагонов на техническую станцию и времени завершения с вагонами грузовых операций, как вносящих наибольший вклад в величину энтропии управления перевозочным процессом для объекта исследования. Методика позволяет впервые при оперативном планировании местной работы одновременно учитывать воздействие случайных процессов, достоверность исходных данных и прогнозной модели [2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 14, 15].

4 Разработана методика оценки технологических рисков в системе организации местной работы железнодорожных участков и узлов, сопутствующих реализации оперативных планов. Методика основана на применении аппарата теории расписаний и теории нечетких множеств для прогнозирования возможных вариантов реализации контролируемых параметров перевозочного процесса. Установление характера и величины технологических рисков позволит снижать издержки, связанные с нарушением заданных параметров доставки грузов, использованием тягового подвижного состава, вагонного парка, трудовых ресурсов [4, 5, 7, 9, 12, 17, 18].

5 Разработана методика построения прогнозных моделей накопления вагонов в процессе моделирования местной работы. В методике идентифицированы характеристики входящего вагонного потока и в соответствии с ними представлены адаптированные способы аналитического моделирования процессов накопления

вагонов до технической нормы или в ожидании технологической операции, выполняемой по расписанию. В отличие от существующих, методика позволяет комплексно учитывать влияние случайных процессов. За счет этого могут дополнительно оцениваться технологические риски и оперативно осуществляться необходимые регулировочные мероприятия [8, 9, 12, 13, 16, 17].

6 Проведена практико-ориентированная оценка методики оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов за счет исследования ее адекватности сложившимся на железнодорожном транспорте условиям и перспективам его инновационного развития. Установлено, что динамическая модель может быть эффективно реализована на современной производственной базе, а разработанная на ее основе методика позволит адекватно осуществлять оперативное планирование местной работы в широком диапазоне эксплуатационной нагрузки. Доказано, что относительная погрешность в системе моделирования местной работы за счет использования предложенной методики уменьшилась с 10,7 до 6,5% (на 38,6%), что позволило сократить оборот грузового вагона на 0,5 ч. Разработан порядок оперативного управления перевозками на основе плана местной работы. Разработана процедура последовательного внедрения динамической модели и предложенной методики на Белорусской железной дороге [4, 5, 7, 8, 9, 11, 14, 16, 17].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1 Практическая ориентированность результатов диссертации имеет три основные составляющие: динамическая модель и предложенная методика адаптированы к существующим на железнодорожном транспорте условиям, что позволяет их совместную реализацию на базе эксплуатируемых информационно-аналитических систем управления перевозочным процессом; применение полученных научных и практических решений позволит увеличить достоверность результатов оперативного планирования местной работы; предложенная методика позволяет масштабировать объекты и адаптировать задачи оперативного планирования, доступна для использования в смежных областях оперативного планирования перевозок и, прежде всего, для решения актуальных задач поездообразования.

2 Результаты диссертационного исследования внедрены: в образовательный процесс УО «Белорусский государственный университет транспорта»; в производственный процесс ГО «Белорусская железная дорога» в виде алгоритмов автоматизированных систем, положений технологических процессов и стандартов организации. Суммарный экономический эффект от внедрения составляет 120,7 тыс. *BYN* в год (подтверждено актами). Дополнительный экономический эффект ожидается в среднем около 49,3 тыс. *BYN* в год.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Казаков, Н. Н. Имитационное моделирование работы мультимодальной грузовой линии / Н. Н. Казаков, О. А. Терещенко // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2008. – №1(16). – С. 38–43.
2. Кузнецов, В. Г. Автоматизированная система сменно-суточного планирования поездной и грузовой работы Белорусской железной дороги / В. Г. Кузнецов, О. А. Терещенко, Е. А. Федоров, Н. А. Старинская, С. Е. Сакович // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2015. – №2(30). – С. 53–56.
3. Кузнецов, В. Г. О предотвращении затруднений в эксплуатационной работе полигонов сети железных дорог / В. Г. Кузнецов, О. А. Терещенко, Е. А. Федоров, Н. А. Старинская, С. Е. Сакович // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2015. – №2(30). – С. 49–52.
4. Терещенко, О. А. Метод оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2016. – №2(33). – С. 96–99.
5. Терещенко, О. А. Оперативное планирование местной работы железнодорожных участков и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса / О. А. Терещенко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2016. – №12. – С. 80–89.
6. Кузнецов, В. Г. Оценка потребного парка вагонов для освоения перевозок на основе структурной декомпозиции / В. Г. Кузнецов, О. А. Терещенко, Ю. О. Леинова // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2016. – №2(33). – С. 75–78.
7. Терещенко, О. А. Динамическая модель перевозочного процесса для решения задачи оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2017. – №1(34). – С. 68–71.
8. Терещенко, О. А. Моделирование процессов накопления вагонов для решения задач оперативного планирования в условиях неопределенности исходной информации / О. А. Терещенко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2017. – №3(69). – С. 45–55.
9. Терещенко, О. А. Оценка технологических рисков в задачах оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2018. – №1(36). – С. 106–109.

Статьи в сборниках научных трудов

10. Кузнецов, В. Г. Анализ информационного обеспечения процесса планирования развоза местного груза диспетчером по регулированию вагонного парка на отделениях Белорусской железной дороги / В. Г. Кузнецов, О. А. Терещенко // Совершенствование работы транспортных систем : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т трансп. ; редкол.: А. А. Михальченко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2001. – С. 130–134.

11. Терещенко, О. А. Автоматизированная система оперативного планирования развоза вагонов с местным грузом на полигоне железной дороги / О. А. Терещенко // Проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса : междунар. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т трансп. ; редкол.: В. И. Сенько (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2003. – С. 36–37.

12. Терещенко, О. А. Математическая модель эксплуатационной нагрузки на железнодорожный полигон в районе местной работы / О. А. Терещенко // IX конф. молодых ученых : сб. ст. / Техника ; редкол.: О. Прентковскис (гл. ред.) [и др.]. – Вильнюс, 2006. – С. 35–38.

Тезисы докладов на научных конференциях

13. Кузнецов, В. Г. Проблемы безопасности, связанные с информационным обеспечением системы оперативного управления перевозочным процессом / В. Г. Кузнецов, П. В. Покатаев, О. А. Терещенко // Проблемы безопасности на транспорте : междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 16 нояб. 2000 г. : тез. докл. / Белорус. гос. ун-т трансп. ; редкол.: В. Я. Негрей (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2000. – С. 43–44.

14. Терещенко, О. А. Влияние информационного обеспечения системы оперативного управления на безопасность перевозочного процесса / О. А. Терещенко // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта и роль молодых ученых в их решении : II междунар. отрас. науч.-тех. конф., 22-24 нояб. 2000 г. : тез. докл. / Ростов. гос. ун-т путей сообщения ; редкол.: В. И. Колесников (гл. ред.) [и др.]. – Ростов н/Д, 2000. – С. 129.

15. Терещенко, О. А. Система информационного обеспечения процесса планирования развоза местного груза на отделениях железной дороги / О. А. Терещенко, О. Н. Лисогурский // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта и роль молодых ученых в их решении : II междунар. отрас. науч.-тех. конф., 22-24 нояб. 2000 г. : тез. докл. / Ростов. гос. ун-т путей сообщения ; редкол.: В. И. Колесников (гл. ред.) [и др.]. – Ростов н/Д, 2000. – С. 130.

16. Кузнецов, В. Г. Создание информационно-аналитической модели сменно-суточного планирования эксплуатационной работы железной дороги /

В. Г. Кузнецов, Т. В. Пильгун, О. А. Терещенко, Е. А. Федоров // Информационные технологии и системы 2016 (ИТС 2016) : материалы междунар. науч. конф., Минск, 26 окт. 2016 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2016. – С. 54–55.

17. Терещенко, О. А. Оперативное планирование местной работы железнодорожных участков и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса / О. А. Терещенко // Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : X междунар. науч.-практ. конф., Днепр, 14–15 дек. 2016 г. : тез. докл. / Днепр. нац. ун-т железн. трансп. ; редкол.: В. В. Скалзуб (гл. ред.) [и др.]. – Днепр, 2016. – С. 97–98.

18. Терещенко, О. А. Оценка технологических рисков при автоматизированном оперативном планировании местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Проблемы безопасности на транспорте : VIII междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 23–24 нояб. 2017 г. : в 2 ч. : тез. докл. / Белорус. гос. ун-т трансп. ; редкол.: Ю. И. Кулаженко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2017. – Ч. 1. – С. 60–61.

РЕЗЮМЕ

Терещенко Олег Анатольевич

Оперативное планирование местной работы железнодорожных участков и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, местная работа, оперативное планирование, динамическая модель, технологические риски.

Цель работы: разработка методики оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов, позволяющей определять технологические риски, а также адекватно сложившимся условиям оценивать и учитывать в системе принятия управленческих решений параметры транспортных объектов и процессов на начальном-конечных операциях доставки грузов.

Методы исследования: общенаучные методы (описательный метод, системный подход, анализ и синтез, логическое обобщение и другие), эвристические принципы проектирования систем, методы математического моделирования, теории множеств, теории вероятностей и математической статистики.

Полученные результаты и их новизна: разработана адаптированная к существующим на железнодорожном транспорте условиям динамическая модель перевозочного процесса с необходимой детализацией и потребным набором параметров для решения задачи исследования. На ее основе разработана методика оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов, позволяющая в режиме реального времени комплексно оценивать параметры и устанавливать нормативы перевозочного процесса, а также впервые при оперативном планировании местной работы одновременно учитывать воздействие случайных процессов, достоверность исходных данных и прогнозной модели.

Рекомендации по использованию: результаты диссертационного исследования внедрены на Белорусской железной дороге в виде положений технологических процессов и стандартов организации в области управления и планирования перевозок, а также реализованы в виде алгоритмов автоматизированных систем. Предложенная методика также доступна для использования в смежных областях оперативного планирования перевозок и, прежде всего, для решения актуальных задач поездообразования.

Область применения: практические и теоретические результаты могут применяться при разработке технологических процессов и создании автоматизированных систем управления перевозками на железнодорожном транспорте.

РЭЗІЮМЭ

Цярэшчанка Алэг Анатольевіч

Аператыўнае планаванне мясцовай работы чыгуначных участкаў і вузлоў з выкарыстаннем дынамічнай мадэлі перавозачнага працэсу

Ключавыя словы: чыгуначны транспарт, мясцовая работа, аператыўнае планаванне, дынамічная мадэль, тэхналагічныя рызыкі.

Мэта працы: распрацоўка метадыкі аператыўнага планавання мясцовай работы чыгуначных участкаў і вузлоў, якая дазваляе ўлічваць ўзнікаючыя тэхналагічныя рызыкі, і адэкватна складзеным ўмовам ацэньваць параметры транспартных аб'ектаў і працэсаў на пачаткова-канчатковых аперацыях дастаўкі грузаў.

Метады даследавання: агульнанавуковыя метады (апісальны метады, сістэмны падыход, аналіз і сінтэз, лагічнае абагульненне і іншыя), эўрыстычныя прынцыпы праектавання сістэм, метады матэматычнага мадэлявання, тэорыі мностваў, тэорыі верагоднасцяў і матэматычнай статыстыкі.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацавана адаптаваная да існуючых на чыгуначным транспарце ўмоў дынамічная мадэль перавозачнага працэсу з неабходнай дэталізацыяй і патрэбаваным наборам параметраў для вырашэння задачы даследавання. На яе аснове распрацавана метадыка аператыўнага планавання мясцовай работы чыгуначных участкаў і вузлоў, якая дазваляе ў рэжыме рэальнага часу комплексна ацэньваць параметры і ўсталёўваць нарматывы перавозачнага працэсу, а таксама ўпершыню пры аператыўным планаванні мясцовай работы адначасова ўлічваць уздзеянне выпадковых працэсаў, дакладнасць зыходных дадзеных і прагнознай мадэлі.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: вынікі дысертацыйнага даследавання ўкаранёны на Беларускай чыгунцы ў выглядзе палажэнняў тэхналагічных працэсаў і стандартаў арганізацыі ў галіне кіравання і планавання перавозак, а таксама рэалізаваны ў выглядзе алгарытмаў аўтаматызаваных сістэм. Прапанаваная метадыка таксама даступна для выкарыстання ў сумежных абласцях аператыўнага планавання перавозак і, перш за ўсё, для вырашэння актуальных задач пездаўтварэння.

Вобласць ужывання: практычныя і тэарэтычныя вынікі могуць прымяняцца пры распрацоўцы тэхналагічных працэсаў і стварэнні аўтаматызаваных сістэм кіравання перавозкамі на чыгуначным транспарце.

SUMMARY

Tereshchenko Oleg Anatoljevich

Operational planning of railway sections and units local work using a dynamic model of the transportation process

Key words: railway transport, local work, operational planning, dynamic model, technological risks.

Research objective: to develop an operational planning method of railway sections and units local work, which allows to take into account emerging technological risks and to assess adequately the current conditions of transport objects and processes parameters in the initial-final operations delivery.

Methods: general scientific methods (descriptive method, system approach, analysis and synthesis, logic synthesis, and others), heuristic principles of system design, mathematical modeling techniques, set theory, probability theory and mathematical statistics.

Research findings and their novelty: the dynamic model of the transportation process with the necessary detail and the need to solve a set of parameters of the research is designed, which is adapted to existing conditions in railway transport. On its basis the operational planning method of railway sections and units local work is designed, which allows to estimate the parameters and set the standards for the transportation process real time, and for the first time in operational planning of local work at the same time take into account the impact of random processes, the accuracy of the initial data and of the predictive model.

Recommendation for use: the results of the research are introduced on Belarusian Railways as a position of technological processes and standards for enterprises in the field of management and transport planning and implemented in the form of algorithms for automated systems. The proposed method is also available for use in adjacent areas of operational transport planning and above all to address the urgent problems of train formation.

Area of use: practical and theoretical results can be applied in the development of manufacturing processes and the creation of automated traffic management systems for railway transport.

Научное издание

ТЕРЕЩЕНКО Олег Анатольевич

**Оперативное планирование местной работы железнодорожных участков
и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса**

05.22.08 – Управление процессами перевозок

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 16.10.2018 г. Формат 60x84^{1/16}
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 1,4. Тираж 60 экз. Зак. № 3555.

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