

На правах рукописи



Портнова Ольга Юрьевна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВАГОНАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

05.02.22 – Организация производства (транспорт)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург–2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВПО УрГУПС)

Научный руководитель: Сай В.М., д-р техн. наук, профессор

Официальные оппоненты:

Балалаев А.С., д-р техн. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», кафедра «Технология транспортных процессов и логистика», заведующий кафедрой;

Панин В.В., канд-т техн. наук, Открытое Акционерное Общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», заместитель руководителя научно-технического комплекса по управлению перевозками – начальник Отделения взаимодействия транспортных структур.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Защита состоится 25 декабря 2015 года в 10.00 на заседании диссертационного совета Д 218.013.02 на базе ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, зал диссертационного совета, ауд. Б2-15.

Автореферат разослан «___» _____ 2015 года.

Отзывы на автореферат, в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета по почте.

Ученый секретарь диссертационного совета,
д-р техн. наук, доцент



Н.Ф. Сирина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Обеспечение ритмичности и регулярности поставок вагонов под погрузку, отправку грузов потребителям – один из основных процессов транспортно-производственной деятельности как промышленных предприятий, операторов вагонов, так и компании ОАО «РЖД».

Проблема рационального и равномерного обеспечения предприятий вагонами возникала на всех уровнях развития железных дорог. Выполненный анализ проблем транспортного обслуживания промышленных предприятий в современных условиях позволил выявить факторы, оказывающие влияние на процесс обеспечения предприятий вагонами для вывоза продукции. Основные из них: неритмичный подвод сырья; недостаточный уровень планирования заказа порожних вагонов для выполнения планов погрузки; отсутствие обоснованных организационно-технологических возможностей станций предприятий и др.

Существующие подходы обеспечения промышленных предприятий вагонами зачастую не позволяют оперативно реагировать на быстро меняющиеся производственные ситуации, как на железных дорогах, так и на промышленных предприятиях. Это вынуждает искать новые подходы решения этой задачи.

Использование дифференциальных уравнений при математическом моделировании транспортных процессов обеспечения вагонами промышленных предприятий обусловлено тем, что изучаемые процессы относятся к эволюционным, динамическим процессам, в которых участвуют переменные, характеризующие как сам процесс, так и время. Для описания динамического процесса поставки вагонов необходимо использовать такие понятия, как скорость изменения переменных величин (например, скорость изменения количества вагонов), то есть, описываемые технологические процессы характеризуются функциями и их производными.

Разработка методики повышения эффективности организации обеспечения вагонами промышленных предприятий для погрузки продукции с учетом закономерностей транспортных рисков и использованием дифференциальных уравнений направлена на повышение качества транспортного обслуживания грузовладельцев в части обеспечения их вагонами, позволяет улучшить качество предоставляемых предприятию услуг ОАО «РЖД», а также сократить их финансовые издержки, что является весьма актуальным, как для предприятия, собственников вагонов, так и для компании ОАО «РЖД».

Степень разработанности проблемы. Вопросы повышения качества транспортного обслуживания промышленных предприятий рассматривались в научных трудах ученых: А.Е. Авербуха, В.М. Акулиничева, П.А. Козлова, А.Э. Александрова, Г.С. Баландюка, И.П. Владимирской, С.Н. Корнилова, А.С. Новикова, А.Н. Рахмангулова, И.Б. Сотникова, С. В. Трофимова, А.К. Угрюмова, М.И. Шмулевича. Проблема колебания транспортных потоков раскрыта в работах ученых: В.С. Волкова, А.А. Гринева, Г.Р. Громова, Ю.В. Дьякова, Б.С. Козина, В.П. Козловой, Л.С. Крохина, Н.А. Тушина.

Целью диссертационного исследования является повышение эффективности организации обеспечения промышленных предприятий вагонами с использованием моделей и методик прогнозирования и планирования поставок ва-

гонов для выполнения установленных планов сбыта готовой продукции с использованием дифференциальных уравнений.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. Выявить и обобщить факторы и недостатки взаимодействия промышленных предприятий с ОАО «РЖД», операторами и собственниками в части поставок вагонов для отгрузки продукции.

2. Выполнить анализ поставок вагонов промышленным предприятиям (на примере полигона Свердловской железной дороги). Оценить неравномерность и нерациональность обеспечения рассмотренных промышленных предприятий вагонами в соответствии с потребностями и технологическими возможностями самих предприятий.

3. Разработать математическую модель прогнозирования поставки вагонов под выгрузку, погрузку и отправления вагонов с применением дифференциальных уравнений.

4. Разработать методику прогнозирования и планирования обеспечения промышленных предприятий вагонами для погрузки установленных планов продукции.

Объектом исследования является транспортное обслуживание промышленного производства.

Предметом исследования является процесс обеспечения вагонами промышленных предприятий для отгрузки готовой продукции.

В рамках данной работы сформулирована и решена задача описания транспортных процессов обеспечения промышленных предприятий вагонами с применением дифференциальных уравнений. При решении поставленной задачи за основу взяты предприятия с массовыми однородными вагонопотоками.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– предложены и количественно формализованы зоны рисков «перенасыщение/недонасыщение» поставок на промышленные предприятия вагонов под выгрузку и обеспечения порожними вагонами;

– разработана новая модель для формализации транспортного процесса обеспечения предприятий вагонами с применением дифференциальных уравнений;

– дано математическое обоснование величины заказа порожних вагонов. Разработана методика прогнозирования и планирования обеспечения вагонами промышленных предприятий для погрузки продукции, позволяющая предприятию оставаться в зоне стабильного функционирования.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость исследования заключается в разработанной дифференциальной математической модели прогнозирования поставки вагонов на промышленные предприятия, а также разработанной методики планирования обеспечения промышленных предприятий вагонами для выполнения установленных планов сбыта продукции.

Практическая значимость работы состоит в том, что результаты исследования направлены на решение задач прогнозирования и планирования обеспечения промышленных предприятий вагонами для выполнения установленных планов сбыта продукции. Выработанные рекомендации позволяют повысить

уровень качества транспортного обслуживания промышленных предприятий, а также количественные и качественные показатели работы грузовых станций ОАО «РЖД», и собственников вагонов.

Методология и методы исследования. В основу методологии исследования положены общепризнанные теории системного анализа, методы теории вероятностей и математической статистики, методы теории систем дифференциальных уравнений, научные методы сбора и обработки статистических данных, современные достижения науки об общих принципах и методах развития рисков.

Положения, выносимые на защиту.

– количественная формализация зон рисков «перенасыщение/недонасыщение» поставки на промышленные предприятия вагонов под выгрузку и обеспечение порожними вагонами;

– математическая модель сбалансированных входящих и выходящих вагонопотоков в виде линейной системы дифференциальных уравнений первого порядка;

– методика планирования обеспечения промышленных предприятий вагонами для выполнения установленных планов сбыта продукции.

Степень достоверности и апробации работы. Достоверность работы подтверждается обоснованным применением апробированных теорий и методов исследований, а также апробацией результатов работы на конференциях и публикацией работ в открытой печати; адекватностью разработанных математических моделей результатам расчетов; аргументированным использованием в математических моделях гипотез и допущений.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на: X-й Международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2011); Международной научно-технической конференции «Транспорт XXI века: Исследования, Инновации, Инфраструктура» (Екатеринбург, 2011); Всероссийской молодежной научной конференции «Современное техническое образование и транспортный комплекс России: состояние, проблемы и перспективы развития», (Уфа, 2013); Международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (Пермь, 2013); Международной научно-практической конференции «Инновации и исследования в транспортном комплексе» (Курган, 2013); Научно-практическом семинаре аспирантов № 18 УрГУПС (Екатеринбург, 2013); Всероссийской научно-технической конференции «Транспорт Урала» (Екатеринбург, 2013); XIV-й Научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (Москва, 2013), заседании кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» УрГУПС (Екатеринбург, 2014, 2015).

Публикации. Основные положения диссертационной работы и научные результаты опубликованы в тринадцати печатных работах, в том числе восемь печатных работ опубликованы в изданиях, входящих в «Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы исследования, степень ее разработанности, цель и задачи исследования, научную новизну, а также теоретическую и практическую значимость работы.

В первой главе выполнен анализ транспортного обслуживания промышленных предприятий в современных условиях. Выявлены и систематизированы факторы и недостатки взаимодействия промышленных предприятий с железнодорожным транспортом, влияющие на процесс ритмичного обеспечения предприятий вагонами. Исследовано состояние проблемы обеспечения качественного транспортного обслуживания промышленных предприятий.

Установлено, что существует несоответствие между потребностями промышленных предприятий в обеспечении их вагонами и фактом их поставки. В настоящее время при организации этого процесса имеются сложные нерешенные задачи, поэтому зачастую возникают ситуации недопоставки необходимого количества вагонов, что приводит к невывозу продукции, а также с избыточным обеспечением предприятий вагонами, что приводит к затовариванию путей как станции ОАО «РЖД», так и предприятия.

Таким образом, совместная производственная деятельность промышленных предприятий и железнодорожного транспорта на современном этапе развития экономики страны связана с некоторой степенью несогласованности.

Сбои в графике поставок (несвоевременная поставка сырья и порожних вагонов под погрузку) и, как следствие, нарушение планов погрузки – все это приводит к возникновению факторов риска на предприятии. Поэтому риск как экономическая категория является неотъемлемой частью деятельности как самого предприятия, так и транспортных предприятий, его обслуживающих.

В настоящее время организация перевозочного процесса и в частности организация обеспечения промышленных предприятий вагонами основана на теории управления транспортно-технологическими системами и на принципах, выработанных многолетней практикой эксплуатационной работы. Основные методы, применяемые к вопросу изучения транспортных процессов на железнодорожном транспорте, – это имитационное моделирование, вероятностные модели на базе массового обслуживания, математическое программирование.

Изучение на железнодорожном транспорте процессов с применением теории систем обыкновенных дифференциальных уравнений практически не проводилось, несмотря на то, что предлагаемый подход занимает место наряду с системами массового обслуживания и имитационным моделированием. При этом математическое моделирование транспортных процессов на автомобильном транспорте с применением дифференциального исчисления получило широкое практическое применение, а в части железнодорожного транспорта математическая теория транспортных потоков с применением дифференциальных уравнений осталась практически не затронутой. Однако методы, применимые для автомобильного транспорта, не всегда применимы для железнодорожного.

Во второй главе рассмотрен новый подход к решению поставленной задачи: формализованы транспортные процессы обеспечения промышленных предприятий вагонами на основе математической теории в виде прогнозных математических моделей, которые представлены как системы обыкновен-

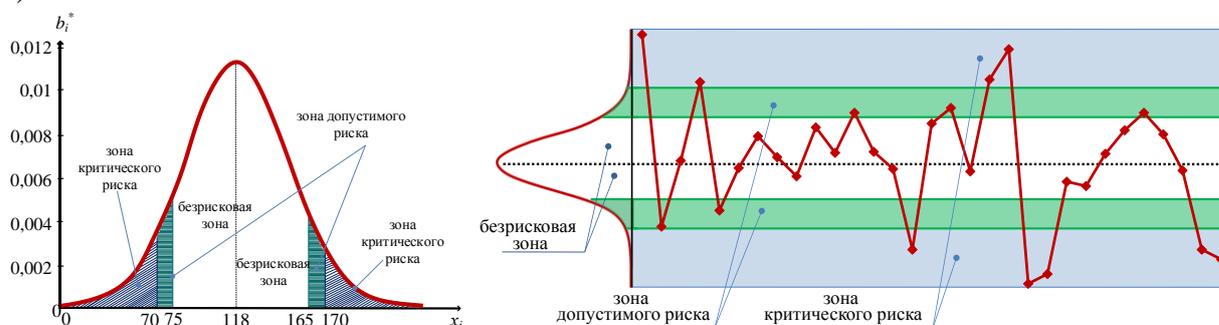
ных дифференциальных уравнений. Разработана методика оценки рисков «перенасыщение/недонасыщение» обеспечения промышленных предприятий груженными и порожними вагонами.

Выполнена (на примере Свердловской железной дороги) классификация предприятий по распределению поставок вагонов в их адреса. Установлено, что на большинстве предприятий поставка вагонов подчиняется нормальному закону распределения (58 %), показательному и равномерному – соответственно 38 и 4 % (рисунок 1).

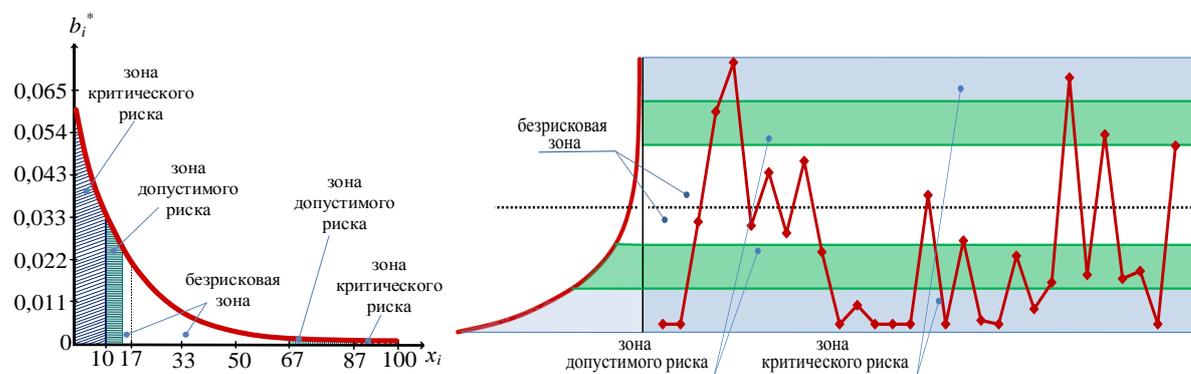
Предложены и количественно формализованы зоны рисков «перенасыщение/недонасыщение» обеспечения вагонами – разработанная методика позволяет определить зоны стабильного функционирования предприятия, зоны допустимого и критического риска.

В результате обработки статистических данных получены законы распределения, которые позволяют прогнозировать возникновение данных рисков. Таким образом, с одной стороны появляется возможность зонирования рисков, а с другой, определять их количественную оценку для промышленного предприятия.

а)



б)



в)

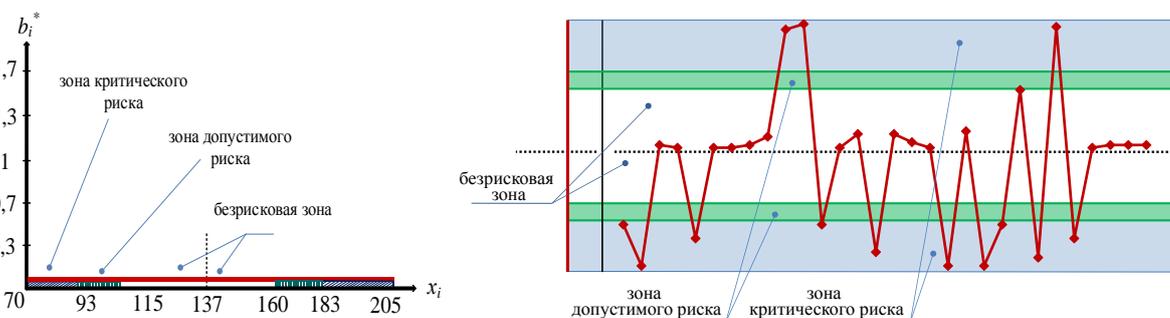


Рисунок 1 – График зон возникновения риска «перенасыщение/недонасыщение»
 а – при нормальном распределении прибывающих вагонов; б – при показательном;
 в – при равномерном

В результате выполненного анализа распределения поставок вагонов промышленным предприятиям за годовой период наблюдения установлена посуюточная неравномерность данного процесса.

На основании этого предложена математическая модель сбалансированных входящих и выходящих вагонопотоков, учитывающая потребность предприятия в вагонах и перерабатывающую способность промышленных путей предприятия, в виде дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx(t)}{dt} = -\mu x(t) + f_1(t), \\ \frac{dy(t)}{dt} = -\alpha y(t) - \beta z(t) + \gamma x(t) + f_2(t), \\ \frac{dz(t)}{dt} = \delta y(t) + \lambda z(t) - \nu x(t) - f_3(t), \end{array} \right. \quad (1)$$

где $f_1(t)$ – скорость поступления груженых вагонов, ваг./сут;
 $\mu x(t)$ – скорость изменения количества груженых вагонов, ваг./сут;
 $f_2(t)$ – скорость поступления порожних вагонов, ваг./сут;
 $\alpha y(t)$ – скорость изменения количества порожних вагонов, ваг./сут;
 $\beta z(t)$ – скорость убывания количества вагонов с сырьем, направленных под погрузку продукции предприятия, ваг./сут;
 $\gamma x(t)$ – скорость поступления порожних вагонов, направляемых под сдвоенные операции из под разгрузки, ваг./сут;
 $\delta y(t)$ – скорость изменения количества порожних вагонов из под выгрузки и готовых к отправлению на выставочные пути, ваг./сут;
 $\lambda z(t)$ – скорость изменения количества погруженных готовой продукцией вагонов и готовых к отправлению на выставочные пути, ваг./сут;
 $\nu x(t)$ – скорость отправления порожних вагонов с подъездных путей предприятия на выставочные пути железнодорожной станции, ваг./сут;
 $f_3(t)$ – скорость отправления груженых вагонов с подъездных путей предприятия на выставочные пути железнодорожной станции, ваг./сут.

В основу математической модели положены два относящихся к транспортному обеспечению промышленного предприятия макропоказателя: выгрузка сырья и погрузка готовой продукции, которые обуславливают возникновение двух процессов – прибытие и отправление вагонов.

Первое уравнение системы, содержащее переменную $x(t)$, описывает изменения, происходящие с вагонами, поступившими на предприятие под выгрузку. Второе уравнение, содержащее переменную $y(t)$, описывает изменения, происходящие с порожними вагонами, поступающими на предприятие под погрузку. Третье уравнение характеризует количественные изменения, происходящие с отправляемыми с подъездных путей предприятия вагонами – $z(t)$.

Полученная математическая модель в виде линейной системы трёх дифференциальных уравнений первого порядка содержит основные сведения об исследуемом объекте. Она изучена и может быть использована при оптимизации процесса обеспечения вагонами промышленных предприятий на основе соответствующего выбора коэффициентов системы ($\alpha, \beta, \delta, \gamma, \lambda, \mu, \nu$) и адекватного подбора функций ($f_1(t), f_2(t), f_3(t)$).

Разработанная математическая модель является неоднородной системой обыкновенных дифференциальных уравнений и при условии непрерывности и

ограниченности функций $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f_3(t)$ имеет бесчисленное множество решений. Для определения единственного решения системы заданы дополнительные условия в виде начальных:

$$\begin{aligned} x(t) \Big|_{t=t_0} &= x_0(t_0) = x_0, \\ y(t) \Big|_{t=t_0} &= y_0(t_0) = y_0, \\ z(t) \Big|_{t=t_0} &= z_0(t_0) = z_0, \end{aligned} \quad (2)$$

где t_0 – начальное время отсчета, x_0, y_0, z_0 – положительные постоянные.

Решение системы найдено для значений $x > 0$, $y > 0$ и $z > 0$. Первое уравнение дифференциальной системы имеет решение:

$$x(t) = x_0 e^{-\mu t} + e^{-\mu t} \int_0^t f_1(\tau) e^{\mu \tau} d\tau. \quad (2)$$

После подстановки решения (2) во 2 и 3 уравнение системы (1) получили полное решение системы:

$$\begin{cases} y(t) = D(t) \cos pt + G(t) \sin pt, \\ z(t) = L(t) \cos pt + M(t) \sin pt + V(t), \end{cases} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} D(t) &= e^{-\sigma t} (y_0 + H(t)), \quad G(t) = \frac{e^{-\sigma t}}{\rho} [P(0) + (\sigma - \alpha)y_0 + \beta z_0 + \rho N(t)], \quad V(t) = \frac{1}{\beta} P(t), \\ L(t) &= \frac{e^{-\sigma t}}{\beta} [(\sigma - \alpha)(y_0 + H(t)) - H'_t - \rho \tilde{C}_2 - \rho N(t)], \quad M(t) = \frac{e^{-\sigma t}}{\beta} [(\sigma - \alpha)(C_2 + N(t)) + N'_t - \rho y_0 - \rho H(t)], \end{aligned}$$

C_1 и C_2 – функции независимого переменного t .

Математическая модель позволяет проиграть сценарии трех одновременно протекающих процессов: прибытие груженных и порожних вагонов и их отправление.

Для вариантов организации работы с двумя параллельными транспортными процессами (например, прибытие порожних вагонов и отправление готовой продукции) предложен частный случай решения разработанной дифференциальной модели, в виде системы двух линейных дифференциальных уравнений с постоянными значениями:

$$\begin{cases} \frac{dy(t)}{dt} = -\alpha y(t) - \beta z(t) + P(t), \\ \frac{dz(t)}{dt} = \delta y(t) + \lambda z(t) - Q(t), \end{cases} \quad (4)$$

где $P(t)$ и $Q(t)$ – скорости прибытия (отправления) вагонов на (с) предприятия, ваг./сут.

Начальные условия:

$$\begin{aligned} y(t) \Big|_{t=t_0} &= y_0(t_0), \\ z(t) \Big|_{t=t_0} &= z_0(t_0). \end{aligned} \quad (5)$$

Решение системы двух линейных дифференциальных уравнений (4) с начальными условиями (5) имеет вид:

$$\begin{cases} y(t) = F_1 e^{-\sigma t} \cos pt + G_1 e^{-\sigma t} \sin pt + V, \\ z(t) = F_2 e^{-\sigma t} \cos pt + G_2 e^{-\sigma t} \sin pt + W, \end{cases} \quad (6)$$

где

$$F_1 = c_1, \quad G_1 = c_2, \quad F_2 = \frac{1}{\beta}(\sigma c_1 - \rho c_2 - \alpha c_1),$$

$$G_2 = \frac{1}{\beta}(\rho c_1 + \sigma c_2 - \alpha c_2) + W, \quad W = \frac{\rho}{\beta} - \frac{\alpha V}{\beta}.$$

При двух процессах такой подход существенно упрощает численные расчеты.

Также установлено, что движение вагонопотоков на подъездных путях промышленных предприятий может быть описано нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями первого порядка:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx(t)}{dt} = -\mu x(t) + f_1(t), \\ \frac{dy(t)}{dt} = \alpha y(t) - \beta y(t)z(t) + \gamma x(t) + f_2(t), \\ \frac{dz(t)}{dt} = \delta z(t)y(t) - \lambda z(t) - \nu x(t) - f_3(t). \end{array} \right. \quad (7)$$

В случае реализации только двух параллельных процесса: прибытия порожних вагонов и отправление вагонов с продукцией:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dz(t)}{dt} = \delta z(t)y(t) - \lambda z(t) - Q(t). \\ \frac{dz(t)}{dt} = \delta z(t)y(t) - \lambda z(t) - Q(t). \end{array} \right. \quad (8)$$

Математическая модель в виде нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с поправками может быть использована как альтернативная математическая модель описания движения грузовых вагонов на подъездных путях промышленных предприятий.

Предложенная математическая модель описания сбалансированных входящих и выходящих вагонопотоков позволяет получить количественный и качественный анализ об изучаемом процессе взаимодействия промышленного предприятия, станций ОАО «РЖД» и собственников вагонов, а также выработать рекомендации по обеспечению стабильной транспортной работы предприятия в части обеспечения его вагонами.

Таким образом, с учетом решения комплекса взаимосвязанных задач планирования разгрузки, погрузки и отправки готовой продукции и с учетом возникающих рисков при взаимодействии ОАО «РЖД», собственников вагонов и предприятия выполненные исследования позволяют получить модель прогнозирования потребного количества вагонов в рассматриваемом периоде при условии стабильной работы предприятия.

В третьей главе выполнено тестирование разработанной модели прогнозирования и планирования поставки на промышленные предприятия вагонов под выгрузку, погрузку и отправление груженых вагонов с целью оценки ее работоспособности и адекватности реальным ситуациям вагонопотоков.

Для каждого анализируемого предприятия заданы коэффициенты, характеризующие скорость перемещения вагонов на подъездных путях рассматриваемого предприятия, а также скорости поступления/отправления вагонов на предприятие. Численные эксперименты выполнены с помощью пакета MathCAD.

Для рассматриваемого в настоящем примере предприятия заданы коэффициенты: $\mu = 0,1$; $\alpha = 0,2$; $\beta = 0,3$; $\gamma = 0,2$; $\delta = 0,4$; $\lambda = 0,2$; $\nu = 0,3$; а также скорости поступления/отправления вагонов на предприятие $f_1(t) = 2\sin(0,2t) + 2$, $f_2(t) = 9$,

$$f_3(t) = 10:$$

$$t_0 := 0; t_1 := 50$$

$$\frac{d}{dt} x_1(t) := -0.1 \cdot x_1(t) + 2 \cdot \sin(0.2 \cdot t) + 2$$

$$\frac{d}{dt} y_1(t) := -0.2 \cdot y_1(t) - 0.3 \cdot z_1(t) + 0.2 \cdot x_1(t) + 9$$

$$\frac{d}{dt} z_1(t) := 0.4 \cdot y_1(t) + 0.2 \cdot z_1(t) - 0.3 \cdot x_1(t) - 10$$

$$x_1(t_0) := 16 \quad y_1(t_0) := 16 \quad z_1(t_0) := 15 \quad t := 0, 0.1 \dots 50$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} := \text{Odesolve} \left[\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}, t, t_1 \right].$$

В результате расчетов получен график динамики изменения количества каждого вида вагонов на подъездных путях в течение рассматриваемого промежутка времени.

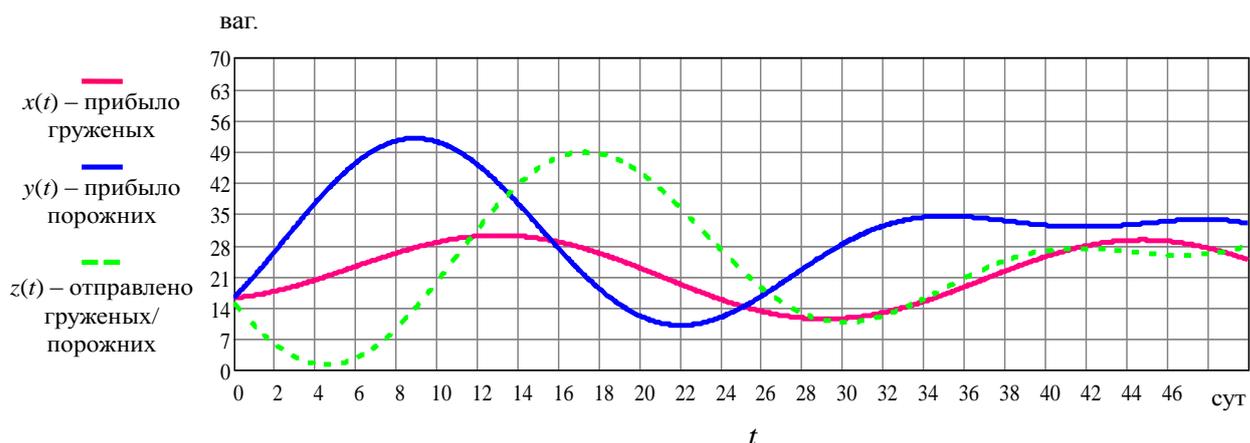


Рисунок 2 – График динамики изменения количества вагонов на подъездных путях предприятия

График вагонооборота рассматриваемого предприятия (рисунок 2) описывает сценарий организации поступления/отправления вагонов, когда количество каждого вида вагонов со временем становится оптимально и соответствует потребностям предприятия (стремится к математическому ожиданию), что и доказывает их затухающий характер колебаний.

На фазовых портретах (рисунки 3–5) представлена взаимосвязь между различным количеством вагонов за рассматриваемый период работы предприятия. Изменение количества вагонов происходит вокруг стационарной точки – являющейся математическим ожиданием в заданных границах. Отсутствуют неограниченные возрастания функции как локально при $t = t_1$, так и при $t \rightarrow \infty$, что соответствует требованиям, поставленным перед построением модели.

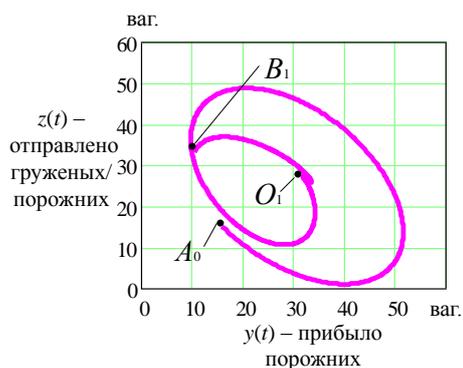


Рисунок 3 – График зависимости между количеством прибывающих порожних вагонов, $y(t)$, и количеством вагонов, $z(t)$, готовых к отправлению

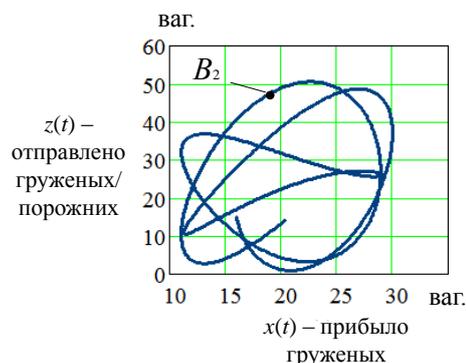


Рисунок 4 – График зависимости между количеством вагонов, прибывающих с сырьем вагонов, $x(t)$, и количеством вагонов, $z(t)$, готовых к отправлению

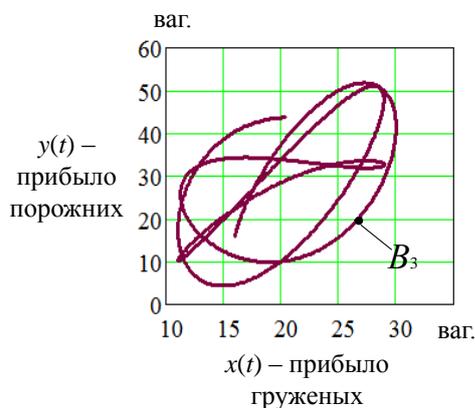


Рисунок 5 – График зависимости между количеством прибывающих с сырьем вагонов, $x(t)$, и количеством вагонов, $z(t)$, готовых к отправлению

Дискретное представление решения системы дифференциальных уравнений с применением разностных уравнений позволяет рассмотреть динамику изменения численности вагонов в течение суток на подъездных путях (п/п) предприятия, в зависимости от количества совершаемых подач/уборок вагонов.

Тестирование системы двух линейных дифференциальных уравнений, описывающих передвижения вагонов на п/п предприятий, также полностью подтвердили ее возможность использования при решении поставленных задач. Рассмотренная система адекватно описывает два параллельно протекающих процесса движения вагонов на предприятии, о чем свидетельствует равенство между входящими и выходящими вагонопотоками.

Для второго рассматриваемого предприятия заданы следующие коэффициенты: $\alpha = 0,2$; $\beta = 0,4$; $\delta = 0,35$; $\lambda = 0,2$; $P = 10$; $Q = 9$ и скорости поступления/отправления вагонов на предприятие $P = 10$; $Q = 9$:

$$t_0 := 0; t_1 := 100$$

$$\frac{d}{dt} y_1(t) := -0,2 \cdot y_1(t) - 0,4 \cdot z_1(t) + 10$$

$$\frac{d}{dt} z_1(t) := 0,35 \cdot y_1(t) + 0,2 \cdot z_1(t) - 9$$

$$y_1(t_0) := 21 \quad z_1(t_0) := 23 \quad t := 0,0.1 \dots 100$$

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} := \text{Odesolve} \left[\begin{pmatrix} y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}, t, t_1 \right].$$

В результате расчетов получен график динамики изменения количества каждого вида вагонов (рисунок 6) на п/п в течение рассматриваемого промежутка времени. Входящие и выходящие вагонопотоки стабильны и равны: вагоны прибывают на промышленное предприятие порожними и после погрузки, отправляются гружеными.

График зависимости между данными видами вагонов имеет вид эллипса и показывает, что колебания количества прибывающих порожних вагонов $y(t)$ на пути предприятия полностью соответствуют колебаниям такого же количества отправляемых вагонов $z(t)$ с путей предприятия, что доказывает сбалансированность между входящими и выходящими вагонопотоками и подтверждает адекватность и работоспособность математической модели (рисунок 7).

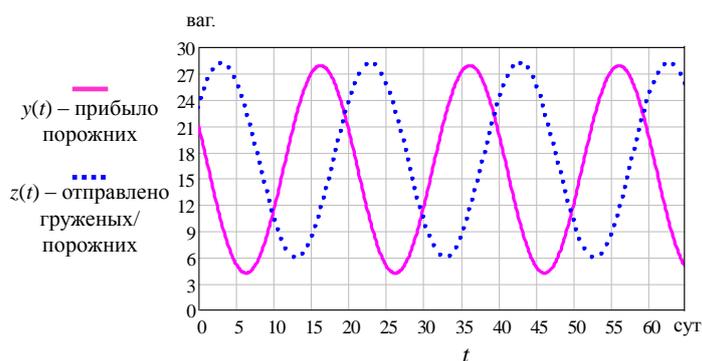


Рисунок 6 – График динамики изменения количества вагонов на подъездных путях предприятия

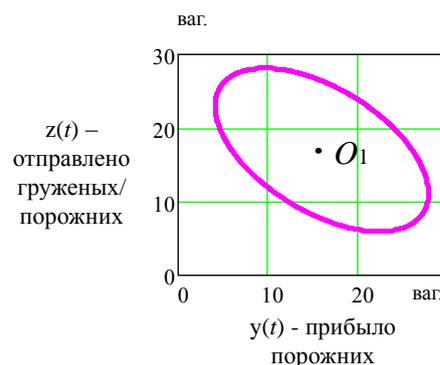


Рисунок 7 – График зависимости между количеством прибывающих порожних вагонов, $y(t)$, и количеством вагонов, $z(t)$, готовых к отправлению

Аналогичные расчеты проведены для модели с нелинейными дифференциальными уравнениями.

Для определения оптимального для каждого предприятия сценария организации транспортной работы разработанная модель позволяет регулировать амплитуду колебаний различного вида вагонов в зоне стабильного функционирования предприятия. На рисунках 8 и 9 показано распределение прибывающих вагонов и выделены зоны риска для промышленного предприятия С.

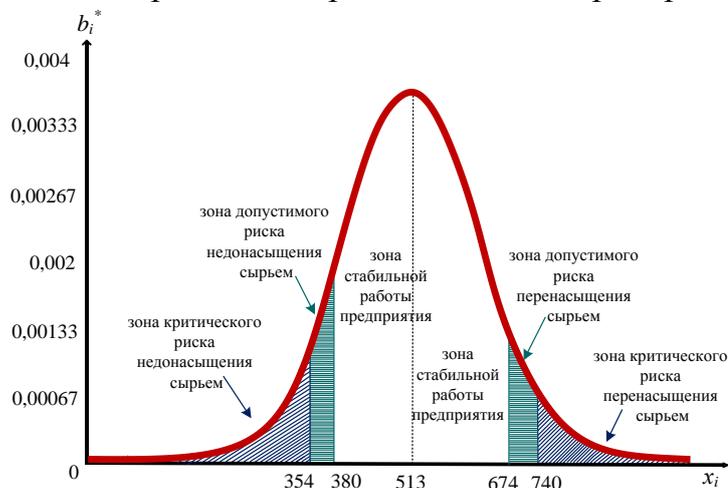


Рисунок 8 – График плотности и зон риска прибытия груженых вагонов в адрес предприятия С: 220–354, 740–888 – зоны критического риска; от 354–380, 674–740 – зоны допустимого риска; 380–513, 513–674 – зоны стабильной работы предприятия

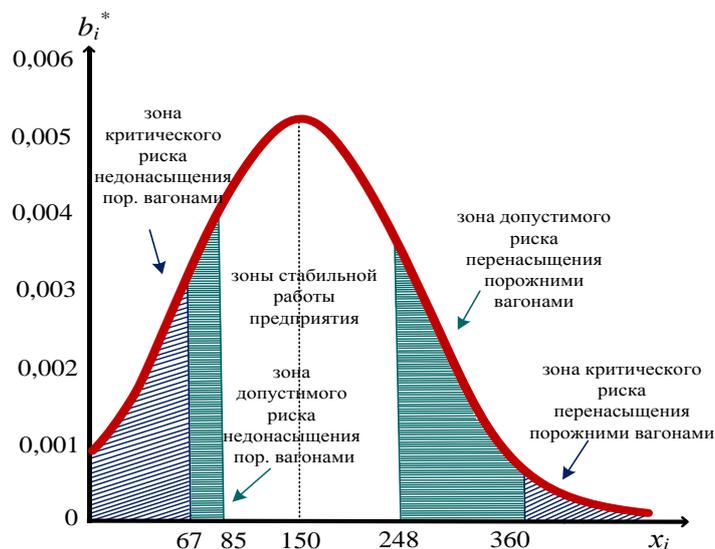


Рисунок 9 – График плотности и зон риска прибытия порожних вагонов в адрес предприятия С: 18–67, 360–378 – зоны критического риска; 67–85, 248–360 – зоны допустимого риска; 85–150, 150–248 – зоны стабильной работы предприятия

На рисунках 10 и 11 выполнено сравнение реальных процессов поступления вагонов и результаты численных решений на модели с использованием дифференциальных уравнений. На графиках красным цветом показано фактическое поступление вагонов, а синим цветом отмечено поступление вагонов, рассчитанное с помощью пакета MathCAD.

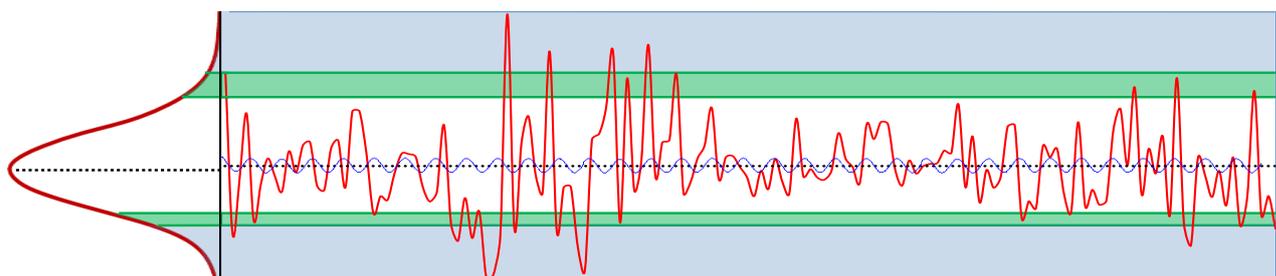


Рисунок 10 – График сравнения реальных процессов поступления вагонов с сырьем на предприятие С и результатов численных решений

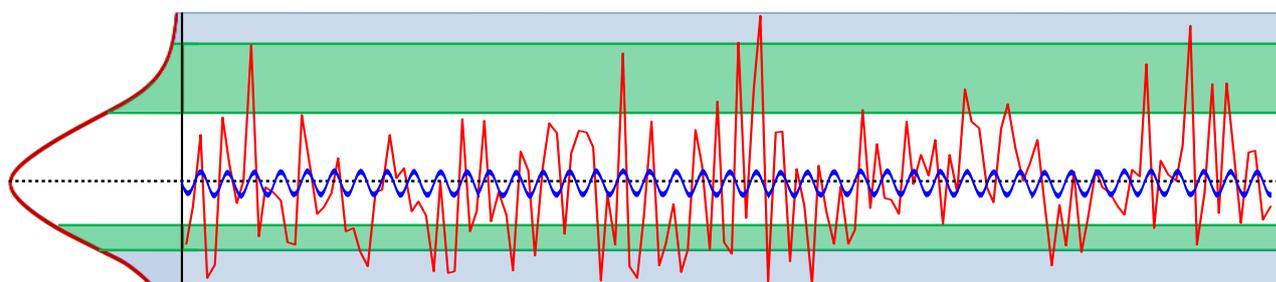


Рисунок 11 – График сравнения реальных процессов поступления порожних вагонов на предприятие С и результатов численных решений

На рисунках 12 и 13 представлены графики прогнозирования вагонооборота предприятия С при проигрывании вариантных сценариев поступления/отправления вагонов (с изменением амплитуды отклонения количества каждого вида вагонов).

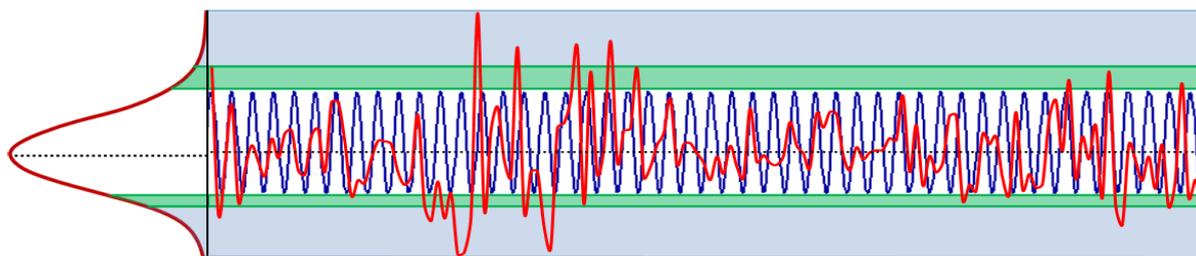


Рисунок 12 – Вариантный график сравнения реальных процессов поступления вагонов с сырьем на предприятие С и результатов численного решения

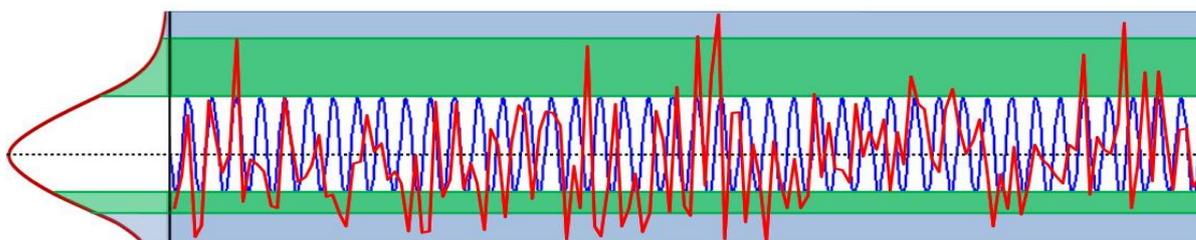


Рисунок 13 – Вариантный график сравнения реальных процессов поступления порожних вагонов на предприятие С и результатов численного решения

Численное решение примеров на математической модели подтвердило ее адекватность производственным процессам организации вагонопотоков на промышленных предприятиях. Дифференциальная модель обеспечивает соотношение вагонов по их видам (поступление/отправление) с подстройкой для балансировки входящих и выходящих вагонопотоков заказа порожних вагонов.

Предложенная модель позволяет формировать производственные сценарии организации обеспечения предприятий вагонами, когда их количество по каждому виду со временем становится близким к оптимальному, то есть стремится к математическому ожиданию, а также получать варианты при стабильных колебаниях вагонопотоков в заданном диапазоне.

В четвертой главе разработана методика прогнозирования и планирования обеспечения промышленных предприятий вагонами для погрузки продукции. Методика позволяет прогнозировать поступление вагонов на предприятие под погрузку и принимать решение по корректированию заказа порожних вагонов, исходя из минимизации финансовых издержек.

Процесс корректировки заказа порожних вагонов, а также регулирования объема резерва необходимо проводить в текущие сутки непрерывно по некоторым временным срезам, с постоянным уточнением прогноза на будущие сутки.

В основу планирования потребности заказа вагонов положено следующее:

- данные о поступлении на предприятие вагонов под выгрузку в течение двух предшествующих суток;
- анализ в текущие сутки прибытия вагонов под выгрузку (с дальнейшей их погрузкой) по нескольким временным срезам $t(i)$;
- закономерности прибытия на предприятие вагонов под выгрузку с учетом изменения ситуации с «подъема» на «спад» или со «спада» на «подъем». В работе это объясняется тем, что транспортные ситуации с обеспечением предприятий вагонами чередуются и изменяются ближе к синусоиде. То есть в случае прибытия вагонов ниже планового, как правило, наступает период с прибытием вагонов выше планового заказа, и наоборот.

Таким образом, получена формула корректировки заказа порожних вагонов K_3 на текущие (третьи) сутки:

$$K_3 = |K_1 + K_2 - P'| + \lambda\delta - a_1 \cdot \text{sgn}(K_1 + K_2 - P') \cdot K_{3,1} - \\ - a_2 \cdot \text{sgn}(K_1 + K_2 + K_{3,1} - P') \cdot K_{3,2} - \dots \\ - a_n \cdot \text{sgn}(K_1 + K_2 + K_{3,1} + K_{3,2} + K_{3,n} - P') \cdot K_{3,n} + \alpha_r R,$$

где функция $\text{sgn } x = \begin{cases} -1, & \text{при } x < 0 \\ 0, & \text{при } x = 0; \\ 1, & \text{при } x > 0 \end{cases}$ $K_{3,i} \quad i = 1, 2, 3 \dots n$ – количественная коррек-

тировка на i -м временном этапе; $\lambda\alpha$ – численное регулирование за счет резерва по итогам двух суток (в случае перенасыщения вагонов $N_{\text{факт1}} + N_{\text{факт2}} > P'$, тогда $\lambda = 0$); K_1 и K_2 – количество вагонов, заказанных для обеспечения плана погрузки предприятия в предшествующие двое суток.

Коэффициент a характеризует изменение объема поставок в зависимости от объема наличного резерва порожних вагонов, плана отгрузки продукции на прогнозируемые сутки, а также функции $F(P)$:

$$a_i = a_i(P, R, F), \quad 0 \leq a < 1, \quad i = 1, 2, 3 \dots, n.$$

Коэффициент α_r влияет на объем резервирования вагонов, зависит от функции $F(P)$ и итога проведенной корректировки на i -м временном этапе:

$$\alpha_r = (F, K_{3,1}, K_{3,2}, \dots, K_{3,n}).$$

С увеличением количества временных срезов для проведения анализа и корректировки заказа порожних вагонов повышается точность прогнозирования.

Обладая информацией за прошлые двое суток и информацией за текущие, возможно проводить корректировку заказа порожних вагонов на четвертые (перспективные) сутки:

$$K_4 = F_4(P) - a_1 \cdot \text{sgn}\left(\int_{N_1}^{N_3} x \cdot \varphi(x) dx - P'\right) \cdot K_{4,1} + \alpha_r R,$$

где $F_4(P)$ – прогнозируемое количество вагонов на конец третьих суток; $K_{4,1}$ – корректируемый заказ на четвертые сутки с учетом $F_4(P)$; R – планируемый резерв вагонов.

На рисунке 14 представлен план заказа предприятием C вагонов под выгрузку на декаду и факт их прибытия за первые и вторые сутки. Так как в первые два дня вагоны на предприятие приходили с отклонением от заказанного объема, то в текущие сутки возникает потребность определения итогового заказа порожних вагонов на перспективные сутки.

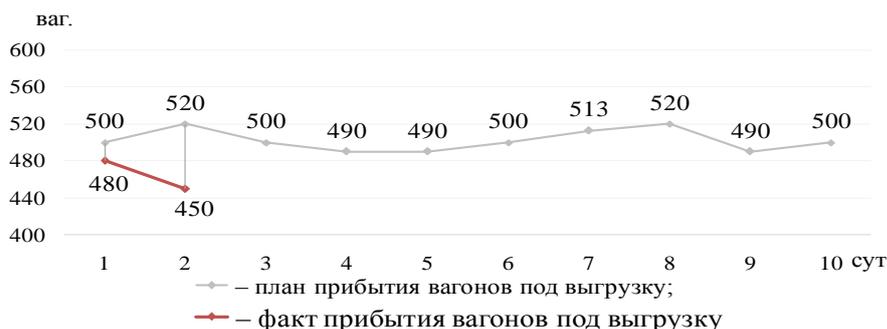


Рисунок 14 – Динамика прибытия вагонов в адрес предприятия C

На текущие (третьи) сутки берем информацию за двое первых суток и производим несколько временных срезов ($n = 6$ наблюдений) для уточнения информации о прибытии вагонов под выгрузку за текущие сутки. Начиная с $K_{3,2}$ и последующих корректировок $K_{3,3}$, $K_{3,4}$, ..., $K_{3,i}$, варьируя заказом порожних вагонов, достигается необходимый их баланс.

На рисунках 15–17 представлена динамика прибытия вагонов под выгрузку по второму ($n = 2$) и шестому ($n = 6$) временному срезу (наблюдению), с прогнозом прибытия вагонов под выгрузку на перспективные (четвертые) сутки. На рисунках 16–18 выполнена корректировка заказа порожних вагонов с учетом сделанного прогноза.

На момент второго временного среза ($n = 2$):

В адрес предприятия C прибыло $N_{\text{факт}3(n=2)} = 246$ вагонов под выгрузку. Откорректированный прогноз прибытия вагонов под выгрузку: $K_{3,2} = 15$ вагонов, $K_{4,2} = 75$ вагонов. Тогда потребность в порожних вагонов на третьи и четвертые сутки с учетом корректировки составляет: $N_{\text{пор.3}} = 125$ вагонов, $N_{\text{пор.4}} = 80$ вагонов.

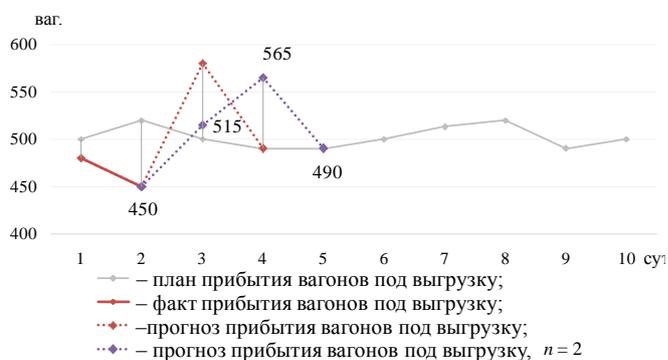


Рисунок 15 – Динамика прибытия вагонов в адрес предприятия C с учетом прогноза на следующие сутки

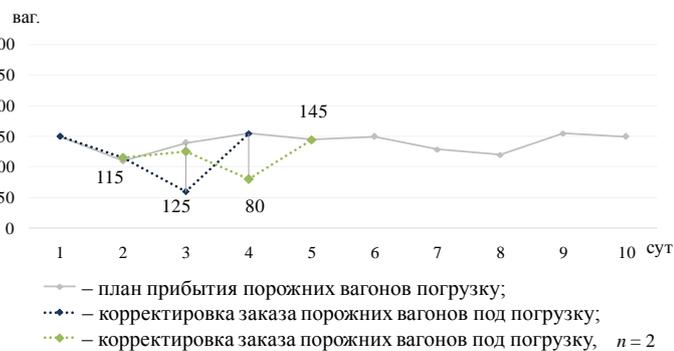


Рисунок 16 – Динамика прибытия порожних вагонов под погрузку в адрес предприятия C с учетом проведенной корректировки заказа

По шестому (итоговому) временному срезу ($n = 6$): в адрес предприятия C прибыло $N_{\text{факт}3(n=6)} = 560$ вагонов под выгрузку. Откорректированный прогноз прибытия вагонов под выгрузку: $K_{3,6} = 60$ вагонов, $K_{4,6} = 30$ вагонов. Тогда потребность в порожних вагонов на третьи и четвертые сутки с учетом корректировки составляет: $N_{\text{пор.3}} = 80$ вагонов, $N_{\text{пор.4}} = 125$ вагонов.

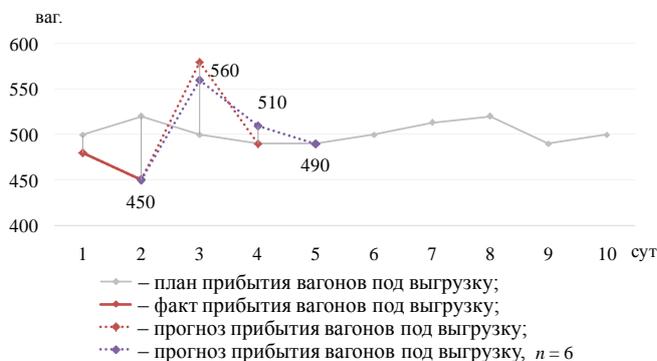


Рисунок 17 – Динамика прибытия вагонов в адрес предприятия C с учетом прогноза на следующие сутки

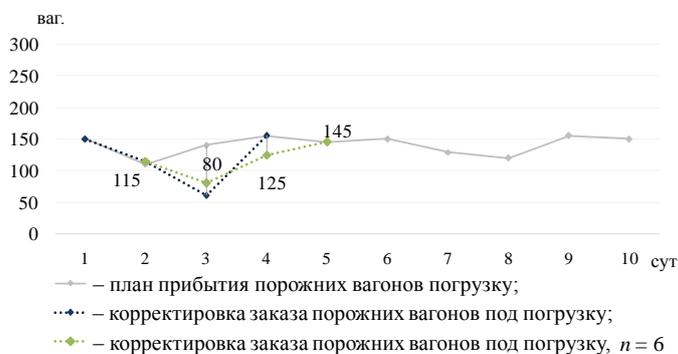


Рисунок 18 – Динамика прибытия порожних вагонов под погрузку в адрес предприятия C с учетом проведенной корректировки заказа

Таким образом, заказ порожних вагонов на перспективные сутки составил 125 единиц вместо ранее планируемых 140.

Проведение последовательной корректировки в течение суток позволяет избежать наступление рискованных ситуаций в транспортной деятельности предприятий. Расчет каждой последующей корректировки позволяет более точно изменять заказ порожних вагонов, обеспечивая выполнения плана погрузки.

Планирование и корректировка заказа порожних вагонов являются таким же основополагающим процессом для предприятия, как и планирование прибытия вагонов под выгрузку. Именно проведение итоговой корректировки заказа порожних вагонов при возникновении рискованных транспортных ситуаций позволяет избежать отклонения баланса вагонов от требуемого.

Решена задача обоснования резервирования порожних вагонов на предприятии. Установлено, что расчет величины резерва порожних вагонов для отгрузки готовой продукции должен быть основан на экономическом сопоставлении издержек от недопоставленной или поставленной вне установленных контрактами сроков и затрат на содержание резерва вагонов (рисунок 11).

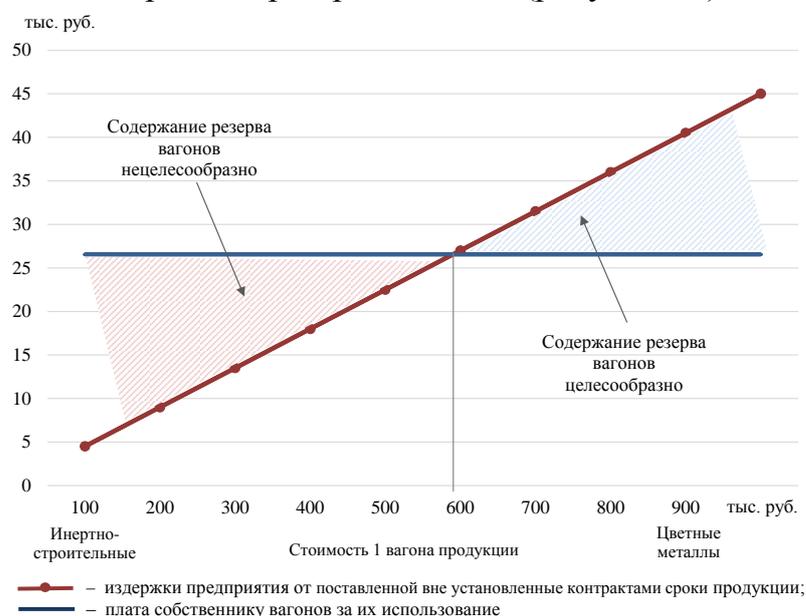


Рисунок 11 – График определения обоснованного содержания резерва вагонов

Предложенная методика прогнозирования и планирования обеспечения вагонами промышленных предприятий для погрузки продукции позволяет прогнозировать поступление вагонов на предприятие для выгрузки на перспективные периоды, а также рациональное корректирование объемов заказа порожнего подвижного состава исходя из теории минимизации финансовых издержек, то есть не допуская избытка либо недостатка вагонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационного исследования поставленные в работе цели достигнуты, задачи решены.

Результаты исследования направлены на практическое решение задач прогнозирования и планирования обеспечения промышленных предприятий вагонами для выполнения установленных планов сбыта продукции.

Основными результатами работы являются следующие положения:

1. Выявлены и систематизированы факторы и недостатки взаимодействия промышленных предприятий с железнодорожным транспортом, отрицательно влияющие на процесс ритмичного и рационального обеспечения предприятий вагонами.

2. Выполнена (на примере Свердловской железной дороги) классификация предприятий по распределению поставок вагонов на пути предприятий. Установлено, что на большинстве предприятий поставка вагонов подчиняется нормальному закону распределения (58 %). При этом показательному и равномерному – соответственно 38 и 4 %.

3. Разработана методика определения зон рисков «перенасыщение/недонасыщение» обеспечения промышленных предприятий груженными и порожними вагонами. Определены зоны стабильного функционирования предприятия, зоны допустимого и критического риска, а также количественные показатели влияния случайных факторов на процесс обеспечения промышленных предприятий вагонами.

4. В результате численных экспериментов установлено, что разработанная математическая модель, основанная на дифференциальных уравнениях, адекватно описывает процессы количественного изменения вагонопотоков между станцией ОАО «РЖД» и предприятием и позволяет формировать производственные сценарии организации транспортного процесса обеспечения промышленных предприятий вагонами. Модель позволяет регулировать амплитуду колебаний по видам вагонов в зоне стабильного функционирования предприятия.

5. Доказано, что корректировка заказа порожних вагонов должна начинаться с конца вторых суток, проводится в течение третьих суток с прогнозированием прибытия вагонов на перспективные сутки. При этом уже на четвертые сутки достигается снижение амплитуды отклонения прибывающего количества вагонов на 30 %, что обеспечивает функционирование предприятия в стабильной зоне.

6. Обоснован порядок расчетов величины резерва порожних вагонов для отгрузки готовой продукции. Расчеты основаны на экономическом сопоставлении издержек от недопоставленной или поставленной вне установленных контрактами сроков и затрат на содержание резерва вагонов.

7. Предложенная модель резервирования порожних вагонов позволяет предприятию избежать излишка или недостатка порожних вагонов и обеспечить их баланс для выполнения установленного планового задания погрузки.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Портнова, О.Ю. Математическое моделирование движения грузовых вагонов на подъездных путях предприятия [Текст] / О.Ю. Портнова, Х.Т. Туранов, Н.П. Чуев // Наука и техника транспорта. 2013. №1. С. 26–42. **По перечню ВАК.**

2. Портнова, О.Ю. Построение и исследование математической модели обеспечения вагонами промышленных предприятий [Текст] / О.Ю. Портнова // Транспорт Урала. – 2013. – № 1. – С. 25-45. **По перечню ВАК.**

3. Портнова, О.Ю. Взаимодействие предприятий с железнодорожным транспортом общего пользования [Текст] / О.Ю. Портнова // Транспорт: наука, техника, управление. 2013. № 10. С. 41–44. **По перечню ВАК.**
4. Портнова, О.Ю. О некоторых проблемах и сдерживающих факторах развития регионального рынка железнодорожных перевозок. [Текст] / О.Ю. Портнова // Транспорт Урала. 2013. № 2. С. 37–40. **По перечню ВАК.**
5. Портнова, О.Ю. Численное моделирование движения грузовых вагонов на подъездных путях предприятий в *Maple* [Текст] / О.Ю. Портнова, Х.Т. Туранов, Н.П. Чуев // Транспорт: наука, техника, управление. 2013. № 12. С. 7–14. **По перечню ВАК.**
6. Портнова, О.Ю. Мониторинг рисков и механизмы управления ими при обеспечении промышленных предприятий региона подвижным составом [Текст] / О.Ю. Портнова, Н.П. Чуев // Транспорт Урала. 2013. № 4. С. 61–71. **По перечню ВАК.**
7. Портнова, О.Ю. Риск-менеджмент в сфере обеспечения промышленных предприятий подвижным составом [Текст] / О. Ю. Портнова // Наука и техника транспорта: Научно-технический и производственный журнал. 2014. №1. С. 21–36. **По перечню ВАК.**
8. Портнова, О.Ю. Исследование математической модели прогнозирования подачи-уборки вагонов на промышленные предприятия [Текст] / О. Ю. Портнова, В.М. Сай // Транспорт Урала. 2015. №3. С. 86–92. **По перечню ВАК.**
9. Портнова, О.Ю. Математическая модель непрерывного обеспечения промышленных предприятий региона подвижным составом [Текст] / О.Ю. Портнова // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе : м-лы Международн. науч.-практ. конф. / под общ. ред. М.Ю. Петухова. – Пермь, 2013. – С. 300–315.
10. Портнова, О.Ю. Факторы, сдерживающие развитие регионального рынка железнодорожных перевозок на современном этапе [Текст] / О.Ю. Портнова // Инновации и исследования в транспортном комплексе : м-лы Международн. науч.-практ. конф. – Курган, 2013. – С. 128–132.
11. Портнова, О.Ю. Математическое моделирование процессов обеспечения подвижным составом промышленных предприятий [Текст] / О.Ю. Портнова // Сб. м-лов Всерос. молодежн. науч. конф. – Уфа, 2013. – С. 26–28.
12. Портнова, О.Ю. Возникновение рисков в транспортных процессах обеспечения промышленных предприятий грузевым и порожним подвижным составом [Текст] / О.Ю. Портнова // Вестник ПНИПУ: охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2013. № 2. С. 126–141.
13. Портнова, О.Ю. Верификация модели организации вагонопотоков промышленных предприятий с применением дифференциальных уравнений [Текст] / О. Ю. Портнова, В.М. Сай // Вестник УрГУПС. 2015. №3. С. 20–34.

Подписано к печати _____

Формат бумаги 60×84 1/16 _____ Объем 1,3 п. л.

Заказ _____ Тираж 100 экз.

Типография УрГУПС, 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66